



Universidade Nova de Lisboa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Informática

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática  
1º Semestre, 2009/2010

Monitorização do consumo de energia em centros de dados  
Nº26599, Rodrigo Carlos Vasques Moretti

Orientador  
Prof. Doutor Pedro Abílio Duarte de Medeiros

25 De Junho de 2010



## **Agradecimentos**

---

Gostaria de deixar o meu agradecimento a todos aqueles que apoiaram e acreditaram na validade e importância desta tese de mestrado, e ajudaram com partilha de conhecimento ou disponibilização da infra-estrutura necessária. Desta forma, deixo o meu especial agradecimento à Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, à Mainroad – Information Technology, e a todas as pessoas que me dedicaram algum do seu tempo, para discutir ideias e procurar novos caminhos.

Agradeço especialmente ao Professor Doutor Pedro Medeiros, pela sua paciência e disponibilidade inigualáveis para aportar todo o seu conhecimento para este projecto.

A todos os que me ajudaram a chegar onde cheguei, o meu mais sincero obrigado.

---



Nº do aluno: 26599

Nome: Rodrigo Carlos Vasques Moretti

Título da dissertação:

Monitorização do consumo de energia em centros de dados

Palavras-Chave:

- Monitorização energética
- *Green IT*
- Aproveitamento energético em centro de dados
- Gestão de infra-estruturas tecnológicas
- Green Grid
- SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation)
- EPA (Environmental Protection Agency)

Keywords:

- Energetic monitoring
- Green IT
- Energetic enhancements on datacenters
- Technological infrastructure management
- Green Grid
- SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation)
- EPA (Environmental Protection Agency)



Glossário:

- *Green IT* – Gestão ambientalmente eficiente das Tecnologias de Informação
- *IT* – *Information Technologu*
- *TI* – Tecnologias de informação
- *CIO* – *Chief Information Officer*
- *CEO* – *Chief Executive Officer*
- *CFO* – *Chief Finantial Officer*
- *PUE* – *Power Usage Effectiveness*
- *DCiE* – *Datacenter Efficiency*
- *SPEC* – *Standard Performance Evaluation Corporation*
- *EPA* – *Environmental Protection Agency*
- *APC* – *American Power Conversion*





## Resumo

---

Com a crescente sensibilização dos problemas energéticos que atravessamos, torna-se evidente a necessidade de adoptar uma atitude mais inteligente frente à utilização que fazemos dos recursos que temos disponíveis.

Seja por uma questão financeira, motivos estratégicos ou simplesmente consciência ambiental, as grandes empresas começaram a preocupar-se com a forma como estão a gastar energia. Esta crescente tendência mundial reflecte-se numa oportunidade de negócio que não passou despercebida aos grandes produtores de hardware, e tem sido notória a preocupação em vender produtos “amigos do ambiente” e de “baixo consumo”.

Diversos artigos têm sido publicados sobre este tema, que chegou a ser considerado pela conceituada consultora *Gartner* como a primeira preocupação das grandes empresas de tecnologias de informação para o ano de 2008.

Sendo este um tema “fresco”, poucos casos práticos são conhecidos do resultado de uma “atitude verde” no dimensionamento, arquitectura e gestão dos parques tecnológicos. Esta dissertação irá mostrar um caso prático num dos centros de dados de referência em Portugal, do impacto positivo que pode ter a adopção dessa “atitude verde”, e principalmente as vantagens que podemos retirar ao conhecer todos os aspectos relacionados com o consumo energético de cada um dos elementos que constituem a realidade tecnológica de uma empresa.

Um sistema de monitorização energética está a ser desenvolvido no âmbito deste Mestrado, e da informação recolhida por esse sistema serão realizados diversos estudos que ajudarão a conhecer qual o estado actual, e que melhorias poderão ser feitas ao centro de dados utilizado.

---

## **Abstract**

---

With the growing awareness of energy related problems we all face before us, it is clear the need to adopt a more clever attitude towards the use we make of the resources that are available to us. No matter if for financial issues, strategic opportunities or simply environmental awareness, big companies are starting to worry more and more about how they spend energy. This growing world tendency is reflected in a business opportunity that has not passed unnoticed to big hardware manufacturers, and has been notorious the concern on selling their new “greener products”.

Several articles have been published about this theme, and were even considered the main concern for IT companies for the year 2008, by the well-known consultant Gartner.

Being such a fresh issue, few or none case studies on the result of a green attitude on dimensioning, architecting and management of the IT infrastructure are known. This master will show a practical case in one of the state of the art datacenters in Portugal, the positive impact that a “green attitude” can have, and the advantages of knowing every aspect related to energetic consumption of each element that constitutes the technological reality of a company.

An energetic monitoring system is being developed to support this project, to provide the needed information to perform several studies that will help determine the current state of the datacenter, as well as determine which improvements can be made in short, mid and long term.

---

# Índice

---

1.	Introdução e Motivação	13
1.1.	Motivações	14
1.1.1.	Motivações ambientais e pressões externas	14
1.1.2.	Aumento do consumo por m <sup>2</sup>	16
1.2.	Problema	18
1.2.1.	Sobredimensionamento	20
1.2.2.	Distribuição de custos, e energia como parte relevante nos custos operacionais	21
1.2.3.	Continuidade de negócio e recuperação de desastres	22
1.2.4.	Necessidade de um sistema de gestão e monitorização energética	22
1.3.	Sistema a desenvolver	27
1.4.	Benefícios dos resultados	27
2.	Estado da Arte	29
2.1.	Métricas Base	29
2.2.	Estudos existentes	31
2.2.1.	Gartner Consulting	31
2.2.2.	SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation)	37
2.2.3.	Green Grid e métricas	38
2.2.4.	Sun e SWaP	42
2.2.5.	Intel e estimativa de consumo de servidores	44
2.3.	Estratégias de optimização energética	46
2.3.1.	Virtualização e optimização energética	46
2.3.2.	Power Zones	48
2.3.3.	Distribuição de picos de carga	49

2.3.4.	Contribuição dos fabricantes de hardware	49
3.	Sistema de monitorização	53
3.1.	Módulos específicos utilizados no sistema de monitorização	54
3.2.	Descrição do protótipo	56
4.	Exemplos de aplicação do sistema	59
4.1.	Testes com servidor desligado	60
4.2.	Testes com servidor em repouso	62
4.3.	Testes de carga com variações de CPU	65
4.3.1.	CPU a 100%	65
4.3.2.	Carga crescente de CPU	68
4.4.	Testes de carga com leitura intensiva de disco rígido	73
4.5.	Testes de carga com escrita intensiva em disco rígido	76
4.6.	Teste de carga em servidor aplicacional, consoante crescente carga de pedidos Web	79
4.6.1.	Carga Web num servidor aplicacional alojado num servidor físico com Windows Server 2003	79
4.6.2.	Carga Web num servidor aplicacional alojado num servidor virtual Windows utilizando tecnologia VMWare	85
4.6.3.	Carga Web num servidor aplicacional alojado num servidor virtual Linux Server 2003 utilizando tecnologia VMWare	91
4.6.4.	Carga Web repartida por 2 servidores aplicacionais alojados em 2 servidores virtuais em Windows Server 2003 em VMWare no mesmo servidor físico	97
5.	Balanço e trabalho futuro	103
5.2.	Próximos passos	103
5.3.	Conclusão	105
6.	Bibliografia	109

## 1. Introdução e Motivação

A preocupação com a crescente exigência energética por parte das empresas de TI, ou cujo negócio é dependente de grandes infra-estruturas tecnológicas não é recente. Na verdade essa preocupação era já visível há mais de 17 anos, quando em 1992 foi criada pela Agência de Protecção Ambiental Americana a “Energy Star”, uma certificação voluntária que destacava os produtos tecnológicos considerados energeticamente eficientes, e um dos primeiros incentivos para uma atitude mais verde por parte das empresas e produtores de hardware. É cada vez mais fácil encontrar novas organizações e entidades dedicadas a esta problemática, e é patente o esforço para definir e estandardizar as “melhores práticas” para a utilização eficiente da energia. Como referência a este tema vulgarizou-se o termo “*Green IT*” (ou “TI Verde”). Várias iniciativas e artigos de opinião vieram a público nos últimos anos sobre o *Green IT*, mas a grande preocupação dos CIOs e gestores tecnológicos nem sempre esteve do lado da optimização energética. Até não muito pouco tempo a grande limitação de um centro de dados estava no espaço físico para alojar os equipamentos que iam sendo adquiridos, tendo a capacidade de entrega energética raramente sido posta em causa. Segundo essa realidade não é difícil entender porque muitos optavam por sobredimensionar o hardware em relação às necessidades reais. Mais capacidade, menos equipamento necessário, menos espaço necessário.. mas e a energia consumida?

A solução (ou minimização) deste problema passa pela adopção de várias medidas, como a aposta numa distribuição dos equipamentos que permita uma refrigeração eficiente dos centros de dados, na utilização de hardware e software que permitam optimizar a energia consumida, na virtualização e consolidação de servidores para reduzir o número total de máquinas, em formação apropriada dos utilizadores e gestores da tecnologia e entre várias outras acções que acabam por se reflectir em investimentos consideráveis por parte das empresas, sendo especialmente difícil quando as infra-estruturas já existem, e onde esta preocupação aparece como um factor novo a equacionar no ciclo de vida de um centro de dados.

## 1.1.Motivações

### 1.1.1. Motivações ambientais e pressões externas

O aquecimento global pode ser definido como o aumento da temperatura média do ar na superfície terrestre e nos oceanos nas últimas décadas, e a projecção desse aumento nos próximos anos. Estima-se que nos últimos 100 anos (até 2005) a temperatura média tenha subido  $0,74^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ), e aponta-se como um dos principais causadores a emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa. Fenómenos naturais como variação solar e vulcões provavelmente tiveram uma pequena influencia no aquecimento global até os anos 50, mas também tiveram uma pequena influência no seu arrefecimento a partir dos anos 50, até os dias de hoje. Estas conclusões são defendidas por várias sociedades e academias de ciências, e embora postas em causa por uns alguns poucos cientistas, são dados aceites como um facto pela esmagadora maioria dos especialistas dedicados ao estudo das mudanças e variações climáticas no nosso planeta<sup>[1]</sup>.

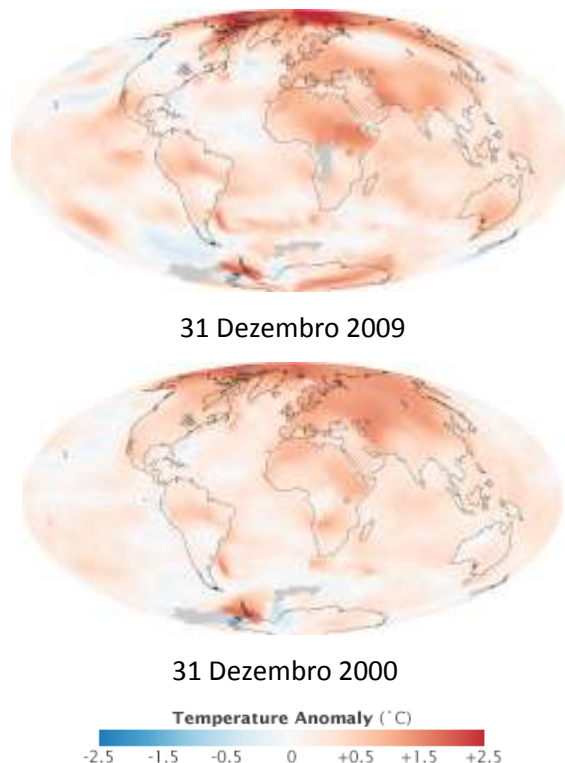


Figura 1.1 – Variação da temperatura média entre 2000 e 2009<sup>[1]</sup>

Como consequência destas conclusões, tem-se dado cada vez mais importância à influência que cada organização (ou indivíduo de uma organização) tem para o aquecimento global. O termo *Carbon Footprint* (ou em português “Pegadas de Carbono”) tem-se banalizado nos meios dedicados a este tema, e pode ser definido como a medida do impacto que as actividades humanas têm no ambiente, em termos de gases libertados que contribuem para o efeito de estufa, medido em unidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O *Carbon Footprint* pode ser visto como o total de CO<sub>2</sub> e outros gases que contribuem para o efeito de estufa emitido durante o ciclo de vida de um produto ou serviço. Este cálculo pode ser feito pelo método LCA (*Life Cycle Assessment*), que resulta da análise do impacto ambiental causado pela simples existência do mesmo, ou pode ser limitado às emissões directamente relacionadas com a utilização de combustíveis fósseis<sup>[2]</sup>.

Actualmente, o abastecimento energético em Portugal pode ser dividido em três grandes fatias, a energia gerada por centrais hidroeléctricas, energia nuclear francesa, e a energia termoeléctrica, sendo esta última ainda predominante entre as anteriores. Ainda que um mercado crescente, infelizmente as energias renováveis desempenham um papel modesto no plano geral de fornecimento energético. É hoje reconhecido que a emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases que contribuem para o efeito de estufa estão directamente associados à transformação de combustíveis fósseis em energia, sendo essas emissões as principais responsáveis pelo processo de aquecimento global.

Pressões e incentivos aparecem aos vários níveis para motivar, e de certa forma obrigar as organizações a caminhar no sentido de minimizar a emissão desses gases, que em termos práticos se traduz numa diminuição da energia consumida. O conhecido tratado de Quioto, que traça objectivos concretos e ambiciosos para os países industrializados, ou os diversos certificados de consciência ambiental são prova disso mesmo, e o seu efeito tem-se feito sentir, “empurrando” as empresas a investir num desenvolvimento sustentável das suas infra-estruturas.

Em 2001, o governo português lançou um novo instrumento de política de energia – o Programa de E4 (Eficiência de Energia e Energias Endógenas), composto por uma série

de medidas múltiplas e diversificadas tentando promover uma postura consistente e integrada quanto à provisão e procura de energia.

Procurando dinamizar a eficiência de energia e o uso de fontes de energia renováveis (endógenas), o programa procura fazer um upgrade da competitividade da economia portuguesa e modernizar o tecido social do país, conservando o ambiente ao reduzir emissões de gás, especialmente o dióxido de carbono responsável pelas alterações climáticas.

#### Electricity prices for industrial consumers - [ten00114]

€/kWh

This indicator presents electricity prices charged to final consumers. Electricity prices ... [more](#)

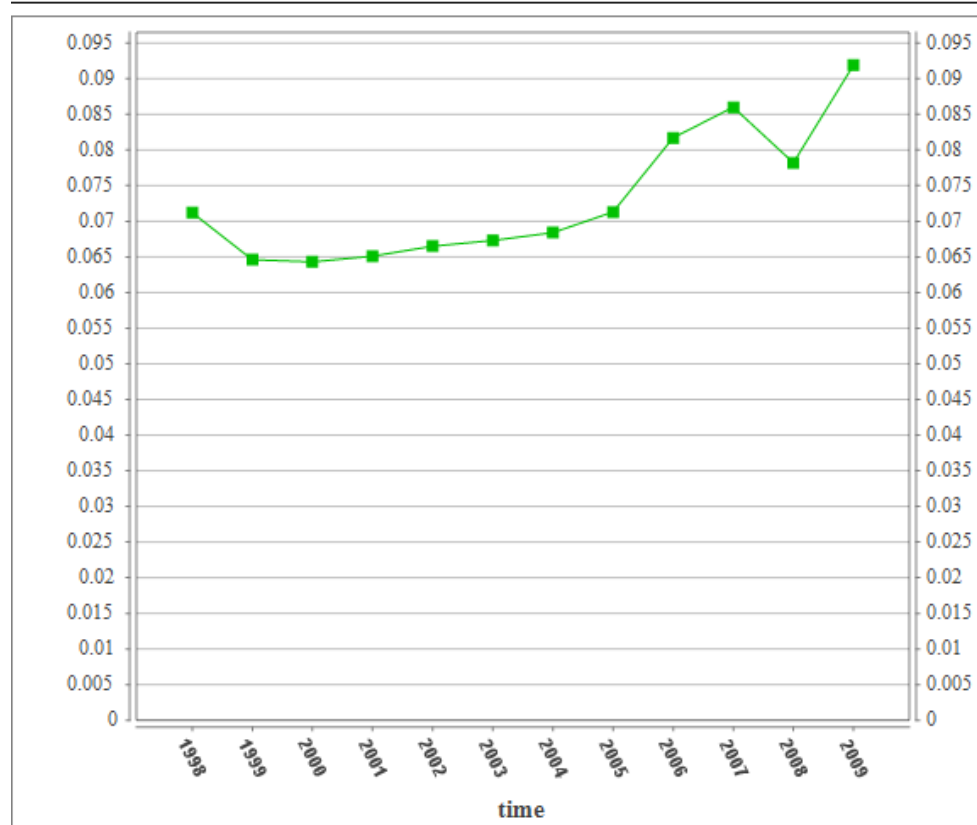


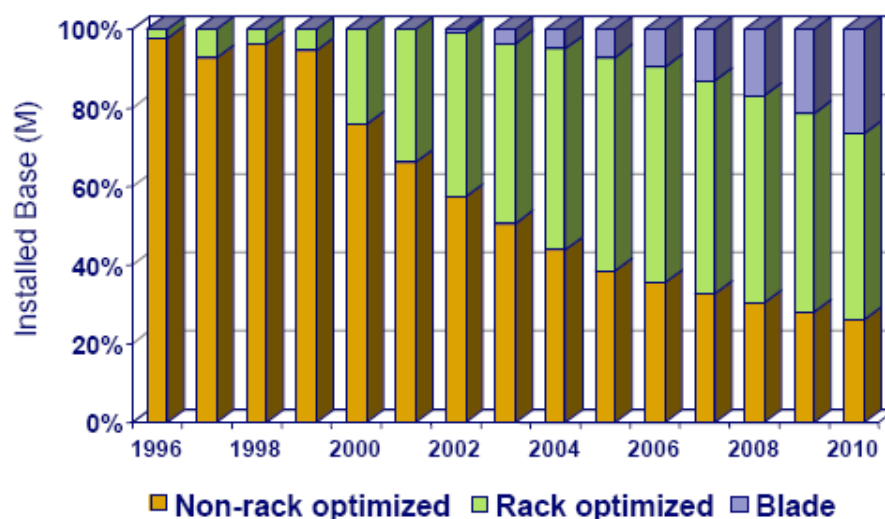
Figura 1.2 – Fonte Eurostat – Aumento do preço da energia em Portugal

### 1.1.2. Aumento do consumo por m2

Na indústria tecnológica o problema não é menor, com o consumo energético necessário para manter as suas infra-estruturas a disparar com o evoluir da tecnologia. Na vigésima



quinta conferência anual da Gartner sobre centros de dados, o consumo de energia eléctrica foi o grande tema do dia, com os seus analistas a avançar com uma previsão que apontava para que metade dos centros de dados do mundo chegaria ao seu limite de capacidade energética até o fim de 2008<sup>[3]</sup>. Estes dados basearam-se em factos como o aumento de energia necessário para sustentar os equipamentos modernos, tendo como referência a possibilidade de montar sistemas que consomem mais de 30,000 watts/rack, frente aos 2,000 ou 3,000 watts/rack de apenas alguns anos atrás, mas as más notícias não ficaram por aí. Sustentados no facto dos equipamentos modernos serem 20 a 50 vezes mais densos que a 50 anos atrás, o constante aumento dos consumos por rack parece ainda estar longe de estancar<sup>[3]</sup>.



**Figura 1.3 – Tendência de crescimento de 15% anuais na densidade energética em centros de dados<sup>[4]</sup>**

Embora em 1996 um bastidor suportasse em média de 7 servidores, actualmente esse valor já ultrapassa os 14, e prevê-se quem em 2010 atinja os 20 servidores por rack<sup>[4]</sup>.

Obviamente que estes dados têm um impacto muito grande nas contas de uma organização, e quanto maior a sua infra-estrutura tecnológica, e maior a dependência dessa infra-estrutura, tanto maior será a fatia que a energia consumida terá nos custos de manter essa infra-estrutura funcional.

## 1.2.Problema

Sendo este um problema tão recente, a grande maioria das organizações com centros de dados já montados não possui um sistema apropriado de monitorização energética e ambiental que lhes permita a granularidade necessária para estudar o estado actual, a evolução e o impacto aquando de alterações nos seus centros de dados referentes a consumos energéticos. Na verdade, a Gartner avança que mais de 75% dos grandes centros de dados ainda não implementaram as métricas energéticas necessárias<sup>[18]</sup>, portanto não é difícil encontrar organizações que só conhecem o consumo total exacto ao receber a factura do seu fornecedor de electricidade, com algum tempo de atraso, e por vezes com informação referente ao agregado de um par de meses.

A optimização energética e a eficiência de arrefecimento tem sido um dos grandes objectivos dos grandes fabricantes de hardware, com a exigência dos seus clientes a aumentar progressivamente. Devido a esse investimento, será de esperar novos equipamentos cada vez mais eficientes, e sistemas de gestão energética integrados de cada fabricante<sup>[15]</sup>.

A realidade de um centro de dados é cada vez mais heterogénea, seja em tipos de equipamentos (routers/switches, servidores, storage, servidores blade, servidores de virtualização, etc..) seja em fabricantes de hardware (HP, IBM, DELL, Cisco, Huawei, Juniper, etc..). o que torna a gestão centralizada um desafio ainda maior. No entanto, é mesmo essa centralização de informação que vai permitir uma visão transversal a todo o centro de dados, permitindo uma imagem real e sobre os mesmos pressupostos da sua realidade e comportamento energético.

Com grande parte dos fabricantes a propor os seus próprios sistemas de gestão energética, a centralização de informação e a análise transversal tornam-se num desafio, e a inexistência de soluções adaptadas ao mundo das TI também não ajuda. Sendo assim, a solução para este problema pode passar por dois modelos distintos, sendo o primeiro a utilização numa fase inicial de mais do que um sistema, procedendo à agregação dos dados recolhidos *a posteriori*, ou a implementação de uma solução que seja independente de fabricantes ou tipo de equipamento, permitindo à partida uma análise

transversal de toda a infra-estrutura e de cada equipamento, organizada segundo o objectivo dessa análise (custo de serviço, comportamento energético de servidores específicos, etc..).

A dificuldade em encontrar um sistema de monitorização energética que permita centralizar a informação referente a cada um desses elementos, independentemente de qual for o seu tipo ou fabricante, especificamente desenhado para centros de dados, traduz-se num enorme contratempo para as empresas que querem começar a atacar este problema já hoje. Como solução, as empresas acabam por não ter alternativas senão contratar entidades externas especializadas, sem nunca ter realmente conhecido a dimensão do problema.

A possibilidade de conduzir de uma forma simples e intuitiva, testes e diagnósticos sobre o comportamento energético de um centro de dados de forma unificada e centralizada, e apoiando-se em métricas e indicadores reconhecidos, que permitam a comparação com diferentes arquitecturas e abordagens utilizadas em outros centros de dados, forneceriam a qualquer organização a possibilidade de auto-educar-se, e de adaptar a sua gestão face à nova informação disponível.

A necessidade de monitorizar toda a infra-estrutura de TI está também relacionada com o tipo de métricas chave, necessárias para avaliar a eficiência energética de um centro de dados. Ao excluir dessa análise os equipamentos cujo fabricante não tenha um sistema de gestão energética tornaria impossível calcular métricas como o PUE ou o DCiE<sup>[7]</sup>, ou correctamente atribuir consumos a serviços, departamentos ou clientes.

Como exemplo dos benefícios de tais estudos e medições, será também objectivo desta dissertação de mestrado a identificação de alguns comportamentos energéticos considerados valiosos na altura de desenhar ou alterar a arquitectura de um centro de dados, como:

- O comportamento do consumo energético de um servidor, quando aplicadas diferentes cargas de CPU;

- O comportamento do consumo energético de um servidor, quando aplicadas diferentes cargas de memória;
- O comportamento do consumo energético de um servidor, quando aplicada leitura em disco;
- O comportamento do consumo energético de um servidor, quando aplicada escrita para disco;

### **1.2.1. Sobredimensionamento**

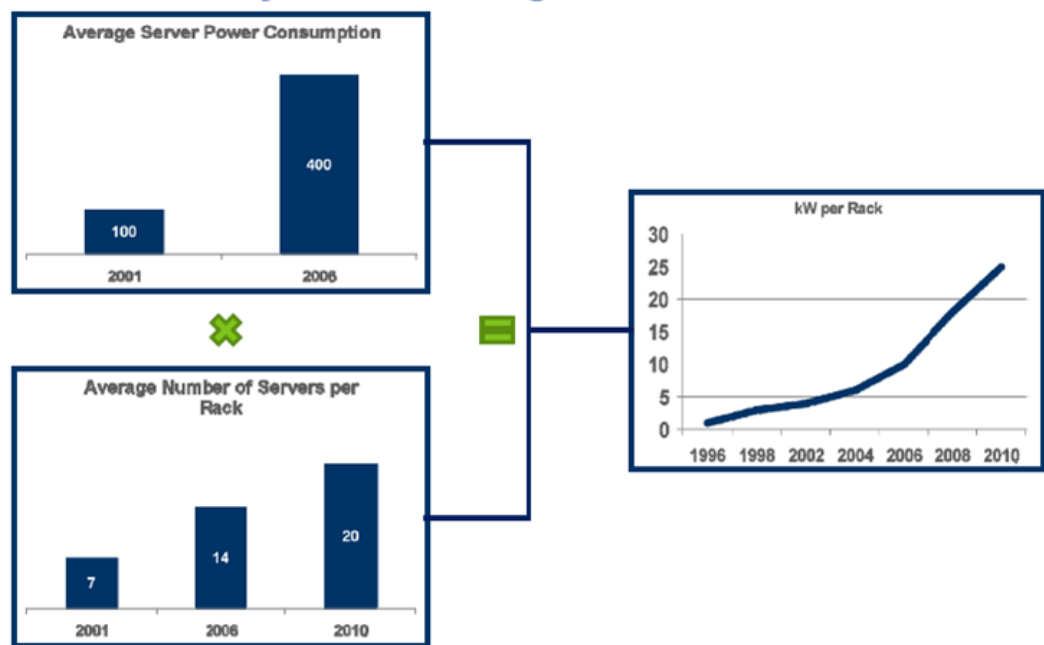
Um dos graves problemas culturais existentes ainda nos dias que correm está relacionado com o sobre dimensionamento, tanto dos equipamentos que se adquirem ao longo do tempo, como com o próprio desenho e construção do centro de dados.

Como a energia utilizada para manter em funcionamento e arrefecer equipamentos tecnológicos ainda fica de fora do processo de decisão da maior parte das organizações actuais, é comum encontrar sistemas pouco otimizados na relação entre a carga de trabalho a que estão submetidos e a real capacidade de processamento/armazenamento/comunicações de que estão dotados. Isto é muito influenciado pela pouca flexibilidade na aquisição de hardware a que sempre estivemos sujeitos e na pouca percepção dos reais custos associados à aquisição de equipamentos mais potentes. Esta tendência tende a mudar com modelos de negócio mais dinâmicos a ganhar o seu espaço, como é caso do SaaS (Software as a Service), Cloud computing e rentings de curta duração, e com uma maior consciência do real custo energético associado à infra-estrutura tecnológica.

No que respeita ao desenho e construção de novos centros de dados, a APC chega a afirmar que grande parte dos centros de dados poderão ter sido dimensionados até 3 vezes mais da sua real necessidade, e que os custos de implementação e manutenção podem nunca vir a ser recuperados dentro do ciclo de vida dessa infra-estrutura. Estes gastos poderiam ser extremamente reduzidos ao desenhar-se centros de dados adaptáveis às alterações de capacidade necessária<sup>[21]</sup>

### 1.2.2. Distribuição de custos, e energia como parte relevante nos custos operacionais

O custo associado aos consumos energéticos em centros de dados nem sempre teve o peso e a visibilidade de hoje. Na verdade, muitas vezes esses custos nem sequer eram contabilizados nos orçamentos de TI, não dando visibilidade aos CIOs da evolução do consumo energético dos seus centros de dados, e muito menos razões para quantificarem essa variável no planeamento do seu desenvolvimento e crescimento. Hoje o cenário é consideravelmente diferente, com a grande fatia dos custos operacionais de um centro de dados associado justamente a essa variável.



**Figura1.4 – Fonte IDC – Impacto da energia e do arrefecimento nas infra-estruturas dos centros de dados**

De forma a absorver o impacto do custo com o consumo energético relacionado com os serviços suportados pelas TI dentro de uma organização, cada departamento é cobrado pela energia relacionada com serviços que lhe são prestados (*Chargeback*). O mesmo se passa com a oferta para clientes externos, onde aparte de um esforço por transferir esses custos para o cliente, diversas soluções baseadas no conceito “pagar o que utilizar” começam a surgir, sendo um excelente exemplo o SaaS, ou *Software as a Service*.

De forma a tornar possível atribuir correctamente por cada departamento ou cliente a fatia respectiva do consumo total de energia, torna-se cada vez mais importante ter a noção exacta de como se distribui, comporta e evolui a utilização energética de cada componente de hardware de um centro de dados, e qual a influencia aproximada que o software utilizado tem nesse consumo.

### **1.2.3. Continuidade de negócio e recuperação de desastres**

Cada vez mais a sobrevivência de uma empresa depende do quão preparadas estas estão para o imprevisto. O investimento em planos de continuidade de negócio e recuperação de desastres é cada vez maior, porque o impacto no negócio relacionado com problemas tecnológicos também é cada vez maior.


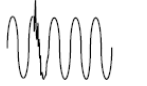
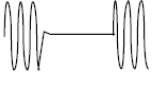

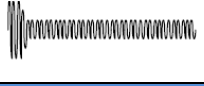
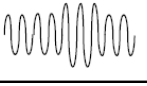


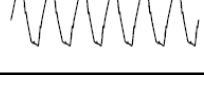

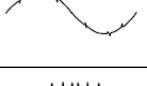
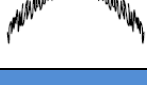
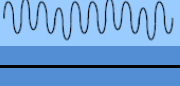
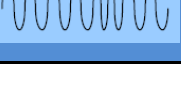
Um dos grandes desafios dos dias de hoje está no fornecimento da energia eléctrica de amanhã, e com o impacto que o mal aproveitamento da energia tem em qualquer plano de desenvolvimento sustentável.

Entre outros factores, isto faz com que a optimização do consumo energético e a minimização de libertação de calor para a atmosfera assumam um papel cada vez mais importante nos planos de continuidade de negócio, só existindo vantagens em equacionar nesses planos o conhecimento adquirido na elaboração de estudos reais, na avaliação de tendências, e no controle diário da evolução dessas variáveis dentro da organização.

### **1.2.4. Necessidade de um sistema de gestão e monitorização energética**

A necessidade de um sistema de gestão e monitorização energética é cada vez mais patente, e atinge várias camadas da organização.

Como exemplo operacional, podemos considerar a necessidade de monitorizar em tempo real a qualidade da energia a ser entregue a cada equipamento. A APC identifica 7 tipos de problemas de energia<sup>[20]</sup> que podem facilmente ser detectados com uma ferramenta que monitorize em tempo real o consumo de cada equipamento. A tabela seguinte exemplifica cada um destes problemas:

Categoria	Forma da onda	Efeitos	Possíveis causas	Possíveis soluções
<b>1. Transitório</b>				
Impulsivo		Perda de dados, possíveis danos, indisponibilidade de sistemas	Relâmpagos, ESD, Recuperação de falha do fornecedor	TVSS, manter humidade entre 35-50%
Oscilatório		Perda de dados, possíveis danos	Desligar cargas capacitivas/Indutivas	TVSS, UPS, Reatores/Estranguladores, Switches sem cruzamentos
<b>2. Interrupções</b>				
		Perda de dados, possíveis danos, Shutdown	Switching, falhas de fornecedor, falhas no circuito, falhas de componentes	UPS
<b>3. Cedência / Sub-Voltagem</b>				
Cedência		Indisponibilidade de sistemas, perda de dados, shutdown	Cargas de arranque, falhas	Condicionador de potência, UPS
Sub-Voltagem		Indisponibilidade de sistemas, perda de dados, shutdown	Falhas de fornecedor, alterações de carga	Condicionador de potência, UPS
<b>4. Inflação / Sobre-Voltagem</b>				
Inflação		Impacto nos sistemas, danos nos equipamentos / redução de vida	Falhas de fornecedor, alterações de carga	Condicionador de potência, UPS, ferroresonant "control" transformers
Sobre-Voltagem		danos nos equipamentos / redução de vida	Falhas de fornecedor, alterações de carga	Condicionador de potência, UPS, ferroresonant "control" transformers
<b>5. Distorção em forma de onda</b>				
Desvio de DC		Trnsformadores aquecidos, falha da corrente terra, impacto nos sistemas	Falhas de rectificadores/fontes de alimentação	Reparar e substituir equipamentos
Harmonicos		Transformadores aquecidos, indisponibilidade nos sistemas	Cargas electrónicas (não lineares)	Reconfigurar distribuição, instalar itransformadores factor-k, utilizar fontes de alimentação PFC
Inter-Harmonicos		Luz intermitente, aquecimento, interferência nas comunicações	Sinais de controlo, equipamentos em falha, cycloconverters, conversores de frequência, motores de indução	Condicionadores de potência, Filtros, UPS
Trepidação		Interrupção dos sistemas, perda de dados	Controladores de velocidade variável, soldadores de arco, controladores de luz	Reconfigurar distribuição, realocar cargas sensíveis, instalar filtros, UPS
Ruído		Interrupção dos sistemas, perda de dados	Transmissores (radio), equipamento em falha, ligação à terra ineficiente, proximidade a fontes EMI/RFI	Remover transmissores, reconfigurar ligação à terra, afastar de fontes EMI/RFI, aumentar proteções, filtros, isolamento dos transformadores
<b>6. Flutuações de voltagem</b>		Interrupção dos sistemas, luz intermitente	Operações intermitentes de carga em equipamentos	Reconfigurar distribuição, Realocar cargas sensíveis, Condicionador de potência, UPS
<b>7. Variação da frequência da potência</b>		Falha dos equipamentos síncronos, sem efeitos nos equipamntos de IT	Geradres de reserva mal geridos	Actualizar o UPS

**Tabela 1.1 – APC - Tipificação de problemas de qualidade energética<sup>[20]</sup>**



Numa perspectiva financeira, a capacidade de separar o consumo por equipamento permite uma distribuição extremamente fiel à realidade segundo diferentes distribuições. A possibilidade de estimar o custo de um serviço, de um tipo de infraestrutura, de um departamento ou de um cliente no consumo global do centro de dados torna-se extremamente valioso, principalmente quando o custo associado com a energia está a escalar para níveis cada vez mais altos.

Do ponto de vista estratégico também existem várias utilizações possíveis para esta informação. Uma das formas de otimizar a energia consumida é a criação de áreas no centro de dados com diferentes densidades energéticas. Esta segregação permite um arrefecimento mais adequado, minimizando a energia consumida pelo sistema de arrefecimento. Ao mesmo tempo, e juntamente com o sistema de gestão de performance utilizado, a identificação de pontos de consolidação permite agilizar o processo de virtualização, ou mesmo de partilha de recursos físicos por vários serviços. Seja numa perspectiva computacional, seja de comunicações ou de armazenamento, quanto maior for a taxa de utilização de cada equipamento, menor será o número total de equipamentos necessários, diminuindo necessariamente o consumo energético. Ao relacionar essa informação à obtida pelos sistemas de gestão de edifícios e infra-estruturas não TI, podemos ter uma visão mais global sobre a forma como a energia é distribuída e consumida dentro da organização. Esta visão global permite não só calcular métricas de eficiência energética, como o desperdício de energia desde o ponto onde a energia é entregue ao edifício até à que chega efectivamente aos equipamentos de TI. Esta informação permite identificar pontos de baixa eficiência energética e substituí-los por tecnologia mais recente e mais eficiente.

Em resumo, um sistema de monitorização energética transversal a toda a organização traz vantagens até à data desaproveitadas, e ajuda não só a manter a infra-estrutura mais saudável, aplicar um modelo de gestão pró-activo, como permite à camada decisora tornar mais eficiente o investimento no seu TI.

A Gartner identifica 6 pontos-chave para uma gestão energeticamente eficiente em centros de dados<sup>[18]</sup>. Esses pontos são os seguintes:

- Identificação de perdas sistemáticas nos componentes dos centros de dados
- Correlação entre infra-estrutura, edifícios e TI
- **Medir os efeitos da carga do IT na utilização de energia**
- **Medir o nível de maturidade dos processos operacionais**
- Consistência, Integridade e independência de fabricante
- Efeito nas condições climáticas

Um dos objectivos desta tese é mostrar que a monitorização em tempo real do consumo energético, de cada um dos elementos de um centro de dados, assim como a recolha de dados históricos que permitam a condução de estudos e auditorias, permitiriam às empresas munirem-se de informação crucial para poder elaborar um plano consistente com o seu estado actual e reais necessidades, e medir o impacto e evolução desse plano numa base diária. Essa análise poderá tornar-se num dos factores chave para as tomadas de decisão relacionadas com qualquer alteração na sua infra-estrutura, assim como para tornar a sua gestão mais eficiente.

As empresas tem a necessidade imediata de conhecer a sua infra-estrutura no que respeita ao comportamento energético, e esse conhecimento deve vir de dentro. Só assim poderão definir correctamente o seu plano de acções a caminho de uma gestão mais eficiente dos seus recursos, e consequentemente de um IT mais “verde”.

A realidade tecnológica evolui a grande velocidade, e o que é um dado adquirido hoje amanhã já pode não o ser, mas uma preocupação parece estar para ficar: todos temos de nos preocupar mais em como utilizamos a energia que consumimos.

- É necessário encontrar um método fiável de medição de consumo energético e uma base reconhecida de comparação, para conhecer ao pormenor a infra-estrutura tecnológica e o seu comportamento, e se possa dimensionar as suas capacidades e limitações.

- Só conhecendo o estado real da infra-estrutura actual, e o seu comportamento frente a alterações, será possível definir objectivos reais e controlar a sua evolução.
- Só com a definição de objectivos concretos e adaptados à realidade de cada infra-estrutura, será possível definir prioridades e determinar quais os passos correctos para atingir esses objectivos.

### **1.3.Sistema a desenvolver**

Um dos passos necessários para a elaboração desta dissertação é o desenvolvimento de um sistema de recolha, monitorização e gestão do consumo energético de equipamentos TI.

Este sistema tem a capacidade de recolher a informação relativa ao consumo energético de qualquer equipamento que esteja ligado um bastidor no centro de dados, independentemente do tipo de equipamento ou fabricante.

Esta granularidade, aliada à capacidade de integração com outros sistemas de recolha de métricas, será o factor diferenciador em relação às soluções actualmente existentes no mercado, pois permitirão um estudo exaustivo do comportamento energético de todo o centro de dados, segundo qualquer critério de organização.

A informação recolhida por este sistema permitirá uma gestão do centro de dados mais eficiente, reduzindo o consumo energético e aumentando o grau de fiabilidade do mesmo.

### **1.4.Benefícios dos resultados**

Espera-se obter um sistema que permita conhecer todos os dados referentes ao consumo energético dos equipamentos de TI de um centro de dados.

Este sistema permitirá às organizações (neste caso à Mainroad<sup>[11]</sup>, empresa do grupo Sonaecom que forneceu a infra-estrutura necessária para a realização desta tese) conhecer como se comporta o DC da Mainroad e dos seus clientes no que respeita ao

consumo energético. A informação recolhida por esta solução permitirá à Mainroad realizar diversos estudos, como são exemplo a relação existente entre a carga de trabalho (CPU e memória), e a variação no consumo, fazer comparação entre fabricantes concorrentes, distribuir custos entre às várias áreas, serviços ou clientes, entre diversos outros estudos. Espera-se com isto fomentar a auto-aprendizagem e trazer maior conhecimento da sua infra-estrutura de TI, ajudando a garantir a sustentabilidade e gestão eficiente dessa infra-estrutura. Como consequência poderá levar os seus clientes a reduzir custos assessorando-os na escolha de equipamentos, administração das soluções que suportam os seus negócios, bem como possibilitar apresentar aos seus clientes modelos de custos dos serviços com base da utilização dos mesmos, tornando mais justa e transparente a facturação.

## 2. Estado da Arte

Este capítulo contém informação recolhida de várias entidades dedicadas à optimização energética em centros de dados. Com este capítulo pretende-se contextualizar e justificar a escolha das métricas escolhidas como fruto dos testes realizados, apresentar alguns estudos e propostas de várias entidades sobre as métricas e melhores práticas a adoptar para atingir um maior nível de maturidade e eficiência na gestão tecnológica. As melhores práticas apresentadas neste capítulo ajudam a justificar o interesse e validade do sistema a desenvolver.

### 2.1.Métricas Base

#### Ampere

O ampere é uma unidade de medida usada para medir a intensidade de uma corrente eléctrica cujo nome foi uma homenagem a André-Marie Ampère (1775-1836). É uma unidade básica do Sistema Internacional de Unidades (SI). Seu símbolo é o A. Seu plural é amperes.

Um ampere é definido como sendo a corrente constante que, se mantida entre dois fios condutores rectos e infinitos ou com secção transversal desprezível, afastados por uma distância de um metro no vácuo, produziria a força por metro de fio equivalente a  $2 \cdot 10^{-7}$  newtons.

A intensidade de corrente eléctrica é definida pela fórmula  $I = \frac{Q}{t}$ , sendo que "Q"[resultado do produto N(número de electrões) por  $e(1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})$ ] é a carga que passa pelo fio e "t" é o tempo em que ela passa. O ampere é uma unidade básica e simboliza "C/s" (coulomb por segundo). Segundo a primeira lei de Ohm, a intensidade de corrente também pode ser calculada pela fórmula  $V = R \cdot I$ , sendo "V" a tensão (volt), R a resistência (ohm) e I a intensidade (ampere)

Essa unidade é muito comum no nosso dia-a-dia. Um bom exemplo são os disjuntores que definem a intensidade de corrente máxima num circuito. Para saber a corrente certa a se usar, deve-se aplicar a fórmula  $P = V \cdot I$ , sendo "P" a potência, em watts

(quantos watts o aparelho consome), "V" a tensão a que o aparelho está submetido (varia de 110V a 250V, dependendo da sua região) e "I" a intensidade da corrente, em amperes (para determinar a corrente máxima).

## **Volt**

Volt (símbolo: V) é a Unidade SI de tensão eléctrica (diferença de potencial eléctrico), a qual denomina o potencial de transmissão de energia, em Joules, por carga eléctrica, em coulomb, entre dois pontos distintos no espaço. Foi baptizada em honra ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827).

Sendo assim, dizer que a tensão existente entre dois pontos corresponde a um volt é o mesmo que dizer que cada carga de um coulomb que se movimenta entre tais pontos transmite um Joule de energia.

Utiliza-se a seguinte fórmula para calcular a tensão:

$$V = J \cdot C^{-1}$$

## **Volt-Ampere**

O voltampere ou volt-ampère (símbolo VA) é a unidade utilizada na medida de potência aparente em sistemas eléctricos de corrente alternada. Um circuito de corrente alternada diz-se que transporta uma potência aparente (S) de 1 VA quando nele circula uma corrente eficaz de 1 ampere com uma diferença de potencial eficaz de 1 Volt.

$$1VA = 1V \cdot 1A$$

Em sistemas de corrente contínua e em sistemas de corrente alternada em fase, a potência aparente é igual à potência activa. Nestes casos, o voltampere pode também ser aplicado para potência activa (P), como equivalente ao watt.

O voltampere reactivo (símbolo var) é a unidade utilizada na medida de potência reactiva (Q) em sistemas eléctricos de corrente alternada.

## **Watt**

O watt (símbolo: W) é a unidade SI para potência. É equivalente a um joule por segundo (1 J/s).

$$\text{Equações : } W = J \cdot s^{-1} = N \cdot m \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$$

A unidade do watt recebeu o nome de James Watt pelas suas contribuições para o desenvolvimento do motor a vapor, e foi adotada pelo segundo congresso da associação britânica para o avanço da ciência em 1889.

## 2.2. Estudos existentes

### 2.2.1. Gartner Consulting

A Gartner Consulting tem vindo a fazer vários estudos de tendências no que respeita à importância e aplicação de uma atitude mais eficiente na utilização energética por parte das empresas cujo IT tem um papel importante no seu funcionamento, e cujos efeitos da crescente necessidade energética, e do custo da energia, já se tem feito sentir.

Os slides seguintes foram retirados de uma apresentação da Gartner sobre este tema ao grupo Sonaecom (que poderá ser fornecida para consulta integral).

No âmbito aqui discutido, alguns pontos são bastante relevantes, como o gráfico abaixo, que descreve a distribuição estimada de consumo energético pelas várias componentes da infra-estrutura de IT.

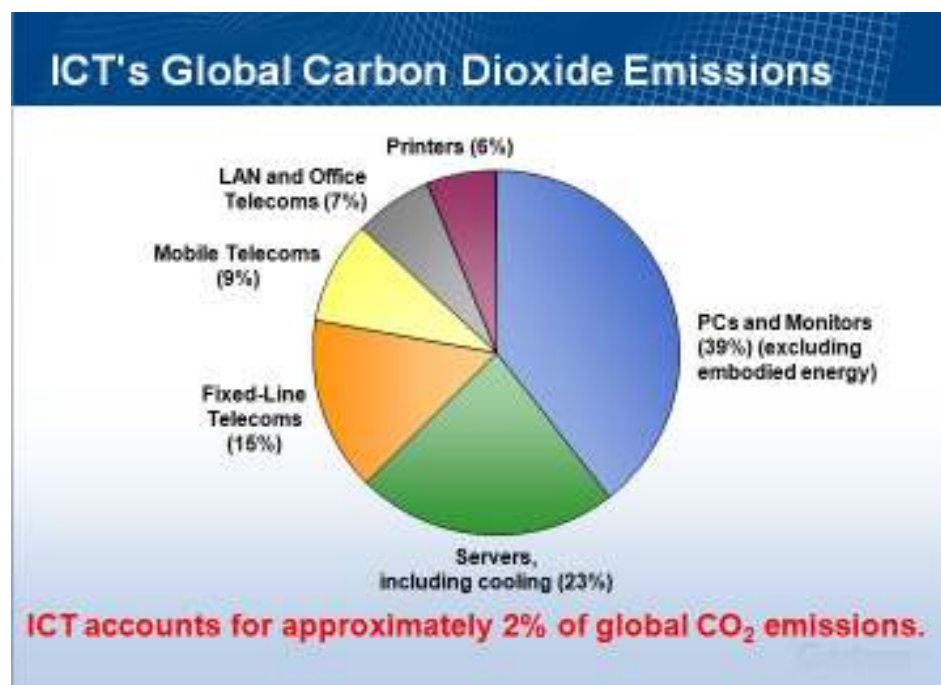


Figura 2.1 – Distribuição de consumo energético pelos componentes TI

Entre várias medidas propostas para a redução e optimização da utilização de energia em centros de dados, destacam-se a criação de “Power Zones”, que defende a distribuição dos equipamentos tecnológicos no centro de dados consoante a sua necessidade/utilização energética, ou a virtualização, para redução do número de máquinas no centro de dados, sem perda de poder computacional.

É importante ter em conta que não é só com a monitorização de consumo energético que vamos chegar a um centro de dados verde. São várias as outras áreas que também devem ser adaptadas a esta nova realidade, como as referidas abaixo:

- Sistemas energeticamente eficientes
- Aquisições de activos
- Operações energeticamente eficientes
- Fontes de energia
- Serviços de suporte
- Gestão de desperdícios
- Construção de edifícios

Como principais recomendações, estão um conjunto de acções que devem ser tomadas em consideração. No entanto, a primeira e talvez a mais importante é a necessidade de começar a medir, monitorizar e gerar relatórios baseados na informação colectada, para conhecer exactamente as necessidades mais imediatas, e possibilitar acompanhar os efeitos das alterações efectuadas no centro de dados. Alguns dos estudos da Gartner são referidos abaixo, com principais conclusões e recomendações, que ilustram bem o caminho defendido por esta conceituada consultora para o futuro da gestão dos centros de dados.



## **Guia pragmático para os problemas dos centros de dados nos próximos 18 meses<sup>[15]</sup>**

### **Principais conclusões**

- Os fabricantes de servidores continuarão a desenvolver servidores mais eficientes energeticamente, para ganhar vantagens competitivas, mas continuarão a manter as suas tecnologias proprietárias, tornando a comparação mais difícil; <sup>[15]</sup>
- Projectos de consolidação de centros de dados tem tendência a ganhar força nos próximos 24 meses, mas devem incluir uma auditoria sobre os custos operacionais da energia para o hardware do TI; <sup>[15]</sup>

### **Recomendações**

- Em centros de dados novos, avaliar as necessidades energéticas de diferentes tipos de servidores (por exemplo, blades de alta densidade x86, RISC e mainframes) utilizando dados do fabricante e históricos, e desenhe a distribuição de energia e refrigeração conforme essas necessidades; <sup>[15]</sup>
- Utilizar benchmarks da SPECpower <sup>[10]</sup> para avaliar a eficiência energética relativa dos servidores. Se um benchmark não existir, não comprar o servidor a esse fornecedor particular; <sup>[15]</sup>
- Exigir ao fabricante para publicar um benchmark da SPECpower dentro de um período de tempo razoável (6 a 12 meses), e considerar comprar produtos alternativos se o benchmark não estiver disponível; <sup>[15]</sup>

## **Energia e arrefecimento continuam a ser os principais problemas nas infra-estruturas dos centros de dados <sup>[16]</sup>**

### **Principais conclusões**

- Entrega energética e arrefecimento insuficientes continuam a ser os maiores problemas das instalações dos centros de dados; <sup>[16]</sup>

- Quase 60% dos inquiridos que estão a planear construir novos espaços para os seus centros de dados nos próximos 2 anos estão a basear a sua arquitectura numa capacidade de 125 watts por pés quadrados ou mais (mais a energia necessária para o arrefecimento, que pode escalar para aproximadamente 250 watts por pés quadrados, com um rácio de 1:1 entre energia de arrefecimento e energia por equipamento);<sup>[16]</sup>

### Recomendações

- Implementar uma estratégia modular e por zonas para novos centros de dados, balanceando áreas com uma necessidade energética tradicional contra áreas que vão ser dedicadas a servidores de alta densidade;<sup>[16]</sup>
- Examinar cuidadosamente o rácio energético para centros de dados futuros, e esperar necessitar projectar para um mínimo de 125watts por pés quadrados (e tipicamente estar num intervalo entre os 150 e os 175 watts por pés quadrados);<sup>[16]</sup>

### Como utilizar as métricas DCiE e PUE<sup>[17]</sup>

#### Principais conclusões

- As métricas DCiE/PUE vão massificar-se nas métricas de eficiência e comparação de centros de dados nos próximos 5 anos;<sup>[17]</sup>
- As métricas DCiE/PUE fornecem o estado actual da eficiência energética do centro de dados;<sup>[17]</sup>
- A métrica DCiE não é um valor fixo para os centros de dados, pois varia com a carga eléctrica, a carga computacional e a arquitectura do centro de dados, como o tipo de arrefecimento;<sup>[17]</sup>
- As métricas DCiE/PUE fornecem indicações críticas de oportunidades de melhoramentos na eficiência energética do centro de dados;<sup>[17]</sup>

## Recomendações

- Utilizar o DCiE ou o PUE numa base diária ou semanal para obter um ponto de situação mais preciso da eficiência energética do centro de dados; <sup>[17]</sup>
- Evitar comparações genéricas com centros de dados de outras organizações. Tais comparações podem ser enganadoras por não haver a certeza de que os cálculos foram feitos para uma carga de trabalho semelhante; <sup>[17]</sup>
- Não utilizar a métrica DCiE para estimar alterações marginais no consumo ou gasto energético resultante de alterações na carga de trabalho ou sistemas de TI, como virtualizações ou descontinuação de servidores; <sup>[17]</sup>

## **Centros de dados verdes: Os seis atributos chave para as métricas de eficiência energética em centros de dados <sup>[18]</sup>**

### Principais conclusões

- Mais de 75% dos grandes centros de dados ainda não começaram a implementar processos formais de monitorização/extracção de métricas de eficiência energética <sup>[18]</sup>
- As métricas de eficiência energética dos centros de dados devem ser independentes de fabricantes, e devem incluir os componentes de TI e de infra-estruturas; <sup>[18]</sup>
- A utilização de sistemas de troca de emissões de carbono vai conduzir, durante os próximos 3 anos, à utilização de métricas de eficiência energética; <sup>[18]</sup>

## Recomendações

- Começar a medir a utilização e eficiência energética para efeitos contabilísticos, técnicos e de gestão de capacidade; <sup>[18]</sup>

- Desenvolver painéis de controlo de eficiência energética de ponto a ponto que forneçam dados técnicos e financeiros para planeamento e contabilidade;<sup>[18]</sup>
- Utilizar métricas de eficiência energética como parte do processo de compra de hardware para o TI. Quando não existirem métricas standardizadas, os utilizadores necessitam desenvolver métodos de comparação que os permita comparar produtos sobre os mesmos pressupostos;<sup>[18]</sup>
- Utilizar os dados de consumo e eficiência energética para distribuição interna de custos, cálculos orçamentais e gestão de capacidades;<sup>[18]</sup>

Segundo este estudo, os seis atributos chave são:

1. Detecção de perdas sistemáticas em componentes de centros de dados;
2. Correlação entre Infra-estruturas, TI e componentes de edifícios;
3. Medição dos efeitos da carga de trabalho na utilização energética;
4. Auditorias sobre a maturidade dos processos operacionais;
5. Consistência, Integridade e neutralidade de fabricante;
6. Efeitos nas condições climatéricas;

### **Centros de dados verdes: Guia para a utilização de métricas e ferramentas de eficiência energética<sup>[19]</sup>**

#### **Principais conclusões**

- Nenhuma métrica por si só será suficiente para avaliar de forma compreensiva o estado da eficiência energética de um centro de dados;<sup>[19]</sup>
- A métrica DCiE e PUE são as que mais tem probabilidade de vir a ser utilizadas pelo European Union Code of Conduct (COC) for Data Centers e o U.S. National Data Center Energy Efficiency Information Program. Isto significa que, em efeito, estas métricas serão utilizadas de uma forma generalizadas em todo o mundo;<sup>[19]</sup>

- Grupos de TI vão precisar de utilizar métricas de eficiência energética em componentes de infra-estruturas como CRACs (Computer Room Air Conditioning) e UPSs (uninterruptible power supplies) para poder obter uma vista completa do seu centro de dados;<sup>[19]</sup>

#### Recomendações

- Medir as métricas DCiE e PUE, e comparar a utilização energética para obter uma visão mais abrangente da eficiência energética dos seus centros de dados;
- Medir o estado actual de utilização energética pela utilização de uma combinação de comparações, e então planear a sua optimização;<sup>[19]</sup>
- Utilizar a SPECpower para avaliar a eficiência relativa de servidores. Se um benchmark não existir, não comprar o servidor a esse fabricante. Deve-se pressionar o fabricante para publicar esse benchmark num período razoável (6 a 12 meses);<sup>[19]</sup>
- Incluir as métricas de eficiência energética nos processos centrais da empresa, como gestão de recursos e chargeback;<sup>[19]</sup>
- Adicionar informação de eficiência energética nas bases de dados/ferramentas/sistemas de gestão de recursos;<sup>[19]</sup>
- Utilizar CFD (Computational Fluid Dynamics) para determinar a eficiência e eficácia dos sistemas de arrefecimento;<sup>[19]</sup>

#### 2.2.2. SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation)<sup>[10]</sup>

A SPEC é uma organização não lucrativa formada com o objectivo de criar, manter e forçar a aplicação de um conjunto relevante de *benchmarks* que possam ser aplicados às novas gerações de computadores de alta performance. Surgiu em 1988, quando um grupo de fabricantes de *desktops* sentiu a necessidade de lançar no mercado um conjunto de métricas e *benchmarks* que permitisse realizar testes de desempenho

estandardizados e realistas. Hoje é uma das organizações mais reconhecidas da área, fornecendo a cada trimestre resultados de um conjunto de testes realizados sobre os novos sistemas que são lançados pelos vários fabricantes.

Foi de sua autoria o primeiro *benchmark* normalizado que avaliava as características relacionadas com energia e desempenho de servidores. A sua motivação surgiu do reconhecimento da indústria, fabricantes e governos, na preocupação sobre a utilização energética em servidores. Actualmente vários fabricantes fornecem dados de eficiência energética dos seus produtos, mas esses dados não são comparáveis, devido à variação na carga de trabalho, configurações, condições do ambiente de testes, etc.. O *benchmark* da SPEC fornece os meios necessários para medir o consumo energético em conjunto com a performance. Estes testes visam ajudar os gestores de TIs a considerar as variáveis energéticas, juntamente com outras variáveis, para aumentar a eficiência energética.

### **2.2.3. Green Grid e métricas<sup>[5][6][7]</sup>**

O Green Grid é uma organização não lucrativa composta por vários profissionais de TI, dedicados à partilha de informação relacionada com os requisitos energéticos e de arrefecimento de centros de dados. O seu objectivo não é defender ou promover nenhum fabricante ou produto, mas sim fornecer recomendações e melhores práticas, métricas e tecnologias, desenhadas para melhorar a eficiência global de centros de dados.

Esta organização defende e acredita que várias métricas podem ajudar as empresas dependentes das TIs a melhorar a eficiência dos seus centros de dados, assim como ajuda-las a tomar decisões mais acertadas no que respeita ao seu desenvolvimento, ao mesmo tempo que fornecem meios de medir e comparar os seus resultados com os de outras empresas.

Com centros de dados mais eficientes, as empresas são capazes de gerir melhor as necessidades de crescimento seja de servidores, redes ou armazenamento, ao mesmo

tempo que reduz o custo total relacionado com a sua existência (*Total Cost of Ownership TCO*), e mantém-se competitiva no mercado.

O Green Grid propõe-se a ajudar as organizações a melhorar a eficiência dos seus centros de dados tanto a curto como a longo prazo. A curto prazo está a propor a utilização de duas métricas: *Power Usage Effectiveness (PUE)* e *Datacenter Efficiency (DCE)*, Eficiência de utilização de energia e eficiência do centro de dados, respectivamente. Estas duas métricas ajudam os profissionais de TI a rapidamente estimar a eficiência energética dos seus centros de dados, comparar com outras realidades, e determinar quais os passos a seguir para obter melhores resultados. A longo prazo está a propor o *Datacenter Performance Efficiency (DCPE)* e uma versão modificada do *Power Usage Effectiveness (PUE)*, a ser adoptadas por todos os subsistemas que contribuem de alguma forma para o consumo energético de um centro de dados.

Além das métricas, o Green Grid fornece também documentação sobre como aplica-las e tirar proveito das mesmas.

#### Métricas de curto prazo (táticas)

O PUE é definido pela seguinte fórmula:

$$\text{PUE} = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}}$$

E directamente relacionado o DCE é definido pela seguinte fórmula:

$$\text{DCE} = \frac{1}{\text{PUE}} = \frac{\text{IT Equipment Power}}{\text{Total Facility Power}}$$

Onde o *Total Facility Power*, ou energia total das instalações (entenda-se instalações do centro de dados), é o total de energia consumida associada a tudo o que suporta os equipamentos de TI, como componentes de tratamento de energia (UPS, geradores, PDUs, baterias, perdas relacionadas com a distribuição de energia, etc..), sistemas de

arrefecimento, equipamentos de TI, desperdício dos UPSs quando sobre cargas reduzidas, e outros equipamentos como iluminação.

O *IT Equipment Power*, ou energia dos equipamentos de TI, inclui o consumo de todos os equipamentos de computação (servidores), armazenamento e redes, assim como switches KVM, monitores e quaisquer postos de trabalho utilizados na manutenção do centro de dados.

Estas duas métricas fornecem uma forma de calcular:

- Oportunidades de melhorias operacionais do centro de dados;
- Como um centro de dados se compara com outros centros de dados de referência;
- Se as operações dos centros de dados estão a melhorar o desenho e processos ao longo do tempo;
- Oportunidades de reaproveitar energia para equipamentos adicionais;

Embora estas duas métricas sejam essencialmente a mesma, podem ser utilizadas para ilustrar a alocação energética de forma distinta. Por exemplo, se o PUE for igual a 3.0, significa que a necessidade energética do centro de dados é três vezes superior à energia necessária para “ligar” todos os equipamentos de TI. Além disto, este rácio pode também ser utilizado para calcular o impacto real dos requisitos energéticos do sistema. Por exemplo, se um servidor necessita de 500 watts e o PUE do centro de dados for de 3.0, então a energia necessária para que o sistema eléctrico possa entregar 500 watts a esse servidor é 1500 watts. O DCE também é bastante útil. Para um DCE de 0.33 (equivalente a um PUE de 3.0), sugere que os equipamentos de TI consomem 33% da energia do centro de dados.

A Figura 2.2 2.2 sugere como seriam calculadas estas métricas num centro de dados.



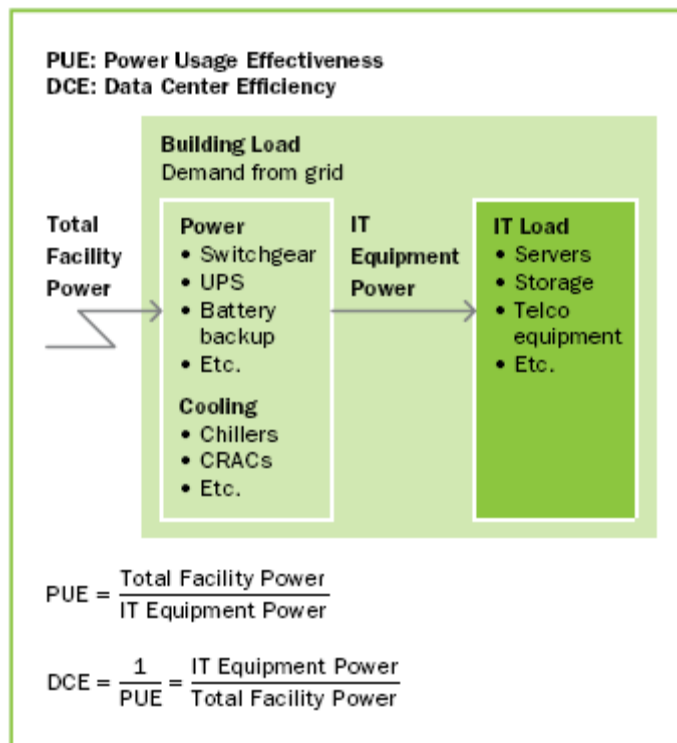


Figura 2.2 - Ilustração de como o PUE e o DCE seriam calculados num centro de dados<sup>[5]</sup>

### Métricas de longo prazo (estratégicas)

Como o mesmo edifício pode suportar vários serviços, sejam centro de dados, escritórios, laboratórios, etc., torna-se difícil isolar o consumo energético específico dos centros de dados. Isto torna-se um desafio ainda maior quando a energia que fornece estes serviços entra no edifício por um único ponto, e só então é distribuída pelas diferentes divisões. Estas configurações tornam também bastante difícil calcular a perda energética resultante do transporte dessa energia até o centro de dados.

Para complicar ainda mais o cálculo do PUE e DCE, os mais recentes sistemas de arrefecimento integram elementos como bombas, refrigeração, ventoinhas e distribuidores de calor embutidos nos próprios equipamentos de TI, que tornam menos clara a separação entre equipamentos de TI e equipamentos das instalações. Como parte do esforço para melhorar a eficiência energética em centros de dados, o Green Grid fornece distinções claras entre os equipamentos de TI e das instalações, assim

como técnicas de medição para todo o centro de dados, assim como para cada equipamento.

Para os objectivo a longo prazo, o Green Grid propõe a métrica *Datacenter Performance Efficiency (DCPE)*, ou em português “Eficiência de desempenho de centros de dados”.

O DCPE pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{DCPE} = \frac{\text{Useful Work}}{\text{Total Facility Power}}$$

Embora esta seja uma métrica muito mais complicada de calcular, é da opinião do Green Grid que é um dos factores estratégicos chave para a indústria. Para esta métrica o centro de dados é visto como uma caixa negra. Energia entra na caixa negra, e calor é libertado. Dados entram e saem da caixa negra, e uma quantidade de trabalho é entregue pela caixa negra.

Outras organizações importantes nesta área estão a trabalhar sobre este tema, e ao nível dos servidores o *Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC)* e a *Environmental Protection Agency (EPA)* têm já um considerável trabalho realizado. O Green Grid espera poder alargar o âmbito desse trabalho a todos os equipamentos de TI.

#### 2.2.4. Sun e SWaP<sup>[22]</sup>

Como já referido anteriormente, esta temática Green não passou despercebida aos grandes fabricantes de hardware, que tentam adaptar as suas ofertas a esta nova necessidade/realidade. Neste sentido, a Sun apresentou recentemente uma métrica muito interessante, que poderá ser uma alternativa de peso aquando da comparação entre vários servidores. Esta métrica visa auxiliar os decisores sobre qual o servidor a escolher, baseando-se em 3 factores chave:

- Espaço;
- Consumo energético;
- Desempenho;

A métrica proposta pela Sun pretende colmatar a necessidade de comparar distintos servidores para um mesmo fim, segundo as necessidades/preocupações mais relevantes para qualquer gestor tecnológico. Sendo esta uma métrica comparativa, as unidades utilizadas podem variar caso a caso, consoante o contexto em que se inserem. Por exemplo a performance pode ser medida em número estimado de utilizadores em simultâneo que seriam suportados, em BTU's (British Thermal Units), Jops (Java Open Particle System), etc.. No caso do espaço, poderia ser expresso em metros cúbicos, em unidades de bastidores (ou Rack Units - RU), etc.. e a energia em Watts, KVA, etc...

O cálculo do SWaP é feito a partir da expressão abaixo:

$$\text{SWaP} = \frac{\text{Performance}}{\text{Espaço} * \text{Consumo}}$$

Como exemplo prático, consideremos os seguintes requisitos:

Um gestor de IT precisa de comprar um servidor para uma aplicação Web, que conta com um acesso máximo simultâneo de 5.000 utilizadores. Para esta solução foram-lhe propostos dois servidores distintos, com as seguintes características:

#### Servidor 1

- Capacidade estimada para 5.000 utilizadores
- Espaço ocupado = 2 RU's (Rack Units)
- Consumo = 350Watts
- **SWaP servidor 1 =  $5.000/(2*350) = 7,143$**

#### Servidor 2

- Capacidade estimada para 7.000 utilizadores
- Espaço ocupado = 4 RU's (Rack Units)
- Consumo = 450Watts
- **SWaP servidor 2 =  $7.000/(4*450) = 3,889$**

Neste caso específico, embora a capacidade do servidor 2 seja maior, o SWaP mostra claramente que em termos de espaço e consumo energético, a escolha mais vantajosa continua a ser o servidor 1.

Embora esta não seja uma métrica oficial, provou ser uma excelente forma de comparar vários servidores diferentes (podendo ser aplicada também a outro tipo de equipamentos, como equipamentos de rede ou armazenamento) sobre os mesmos pressupostos.

### 2.2.5. Intel e estimativa de consumo de servidores<sup>[23]</sup>

A Intel, líder mundial em processadores, propõe uma métrica muito interessante onde se pretende calcular o consumo estimado de um servidor, quando aplicada uma certa carga de CPU constante, durante um determinado período de tempo. Esta métrica torna-se bastante útil para estimativas a longo prazo, onde este factor pode pesar nas decisões de aquisição, manutenção, análise de custos, planos de contingência, etc.. A Intel defende que se soubermos o consumo em performance máxima ( $P_{\max}$ ) e o consumo em *idle* ( $P_{\text{idle}}$ ), quando aplicada uma carga constante de CPU ( $n\%$ ), é possível calcular o consumo real ( $P_n$ ) do servidor ao fim de um determinado período de tempo ( $t$ ) utilizando a seguinte formula:

$$P_n = (P_{\max} - P_{\text{idle}}) \frac{n}{100} + P_{\text{idle}}$$

$$P_{nt} = P_n * t$$

Exemplo:

Se um servidor consome um máximo de 400W, e cerca de 200W em *idle*, a 25% de CPU o seu consumo pode ser calculado da seguinte maneira:

$$P_{25} = (400 - 200)(25/100) + 200 = 200 * 0,25 + 200 = 250W$$

Se este servidor estiver a ser executado durante 24h com esta carga, o consumo total seria:

$$P_{nt} = P_n * t = 250 * 24 = 6000Wh = 6kWh$$

O consumo deste servidor, com uma carga média de 25% de CPU durante 24h seria de 6kWh.

## 2.2.6. APC e estimativas de taxas de optimização<sup>[24]</sup>

A APC é um dos grandes fabricantes nas áreas de distribuição energética e infra-estrutura para centros de dados. Como a maioria dos outros fabricantes de hardware, também se tem posicionado como um parceiro verde, e investe muitos esforços para passar a sua visão do que deve ser um centro de dados energeticamente eficiente.

Entre vários documentos publicados sobre o tema, a APC apresenta, baseando-se na sua vasta experiencia com infra-estruturas de suporte à tecnologia, quais as taxas de optimização energética esperadas aquando de várias alterações no centro de dados.

Essa relação está demonstrada na tabela 2.1:

	Economia	Guia	Limitações
Correcto dimensionamento do NCPI	10 – 30%	Using a modular, scalable power and cooling architecture Utilização de uma arquitectura modular e escalável de energia e refrigeração  As poupanças são maiores em sistemas reundantes	Para novos centors de dados e expansões. Difícil de implementar com actualizações à infra-estrutura existente
Virtualização de servidores	10 – 40%	Não é tecnicamente uma solução física, mas pode ter um impacto radical. Envolve consolidação de aplicações em menos servidores, tipicamente blades. Liberta ao mesmo tempo capacidade de espaço e refrigeração para expansão do centro de dados	Requer maiores mudanças no ambiente de TI Para obter poupanças em centros de dados já existentes, alguns equipamentos de energia e refrigeração devem ser desligados
Sistemas de ar condicionado mais eficientes	7 – 15%	Refrigeração por corredores tem maior eficiencia para maiores densidades. (APC White Paper #130) fluxos de ar mais curtos exigem menos poder de distribuição de ar frio e o ar retornado é maior, aumentando eficiencia, capacidade e prevenindo a deshumidificação, reduzindo também em muito os custos de humidificação	Para novos centros de dados Benefícios estao limitados a arquitecturas de alta densidade
Modo economico no ar condicionado	4 – 15%	Muitos ar condicionados tem modos economicos de funcionamento. Isto pode reduzir substancialmente o consumo energético, dependendo da localização geografica. Alguns centros de dados tem ar condicionados com modo economico.	Para novos centros de dados Difícil de implementar com actualizações à infra-estrutura existente
Distribuição de bastidores mais eficiente	5 – 12%	A distribuição de bastidores tem um impacto grande na eficiencia do ar condicionado. Envolve corredores quentes/frios e correcta distribuição de ar condicionados (APC White Paper #122)	Para novos centros de dados expansões Difícil de implementar com actualizações à infra-estrutura existente
Equipamentos de energia mais eficientes	4 – 10%	Os melhores sistemas UPS de hoje tem menos 70% menos perda de energia do que os equipamentos desactualizados à mesma carga. A chave está na baixa carga, não eficiencia com muita carga. Não esquecer que as perdas das UPS tem de ser refrigeradas, duplicando o seu custo	Para novos centros de dados, ou actualizações
Coordenar os ar condicionados	0 – 10%	Muitos centros de dados tem vários ar condicionados que se anulam. Um pode estar a aquecer, enquanto que o outro arrefece. Um pode humidificar, enquanto o outro desumidifica. O resultado é uma perda significativa. Pode necessitar ajuda profissional para apurar e diagnosticar correctamente	para qualquer centro de dados com mais do que um ar
Distribuir a ventilação do chão correctamente	1 – 6%	Muitas placas de chão ventilado estão mal posicionadas no centor de dados, ou em numero errado. A localização correcta não é sempre obvia. Um estudo profissional pode ajudar a garantir resultados optimos. Beneficio - redução de pontos quentes	Para centros de dados com chão elevado Fácil, mas melhores resultados quando apoiado por profissionais
Instalar luzes de baixo consumo	1 – 3%	Apagar algumas das luzes baseado na hora do dia ou movimento detectado Utilizar tecnologia de iluminação mais eficiente Não esquecer que a energia das luzes tambem deve ser refrigerada, aumentando os custos Os ganhos são maiores para centros de dados de baixa densidade ou parcialmente preenchidos	Quase todos os centors de dados podem beneficiar
Tapar espaços livres nos bastidores	1 – 2%	Diminui a temperatura por espaço no bastidor. Também reduz consumo ao aumentar o retorno de ar do ar condicionado. Barato e fácil de aplicar	Para qualquer centro de dados, velho ou novo

**Tabela 2.1 – Taxas de optimização energética<sup>[24]</sup>**

## **2.3.Estratégias de optimização energética**

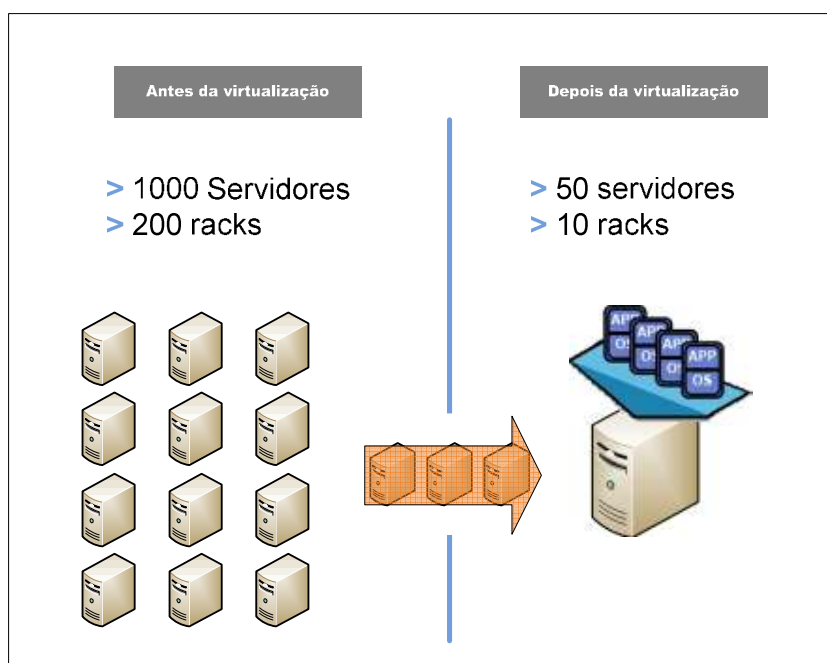
Focando a nossa atenção na redução e optimização da energia consumida por equipamentos de TI, existem inúmeras alternativas e opções a analisar. Algumas dessas medidas estão descritas em seguida.

### **2.3.1. Virtualização e optimização energética**

A virtualização tem sido apontada como a principal medida para redução de servidores em centros de dados, que se reflecte em menos espaço ocupado e menor utilização de energia.

As soluções de virtualizações já não são novas, mas tem vindo a ganhar bastante força nos último anos, sendo hoje em dia opção para praticamente qualquer tipo de sistema ou serviço que se pretenda implementar. Com a actual tecnologia, já é possível sustentar mais de 100 servidores virtuais em um único servidor físico devidamente dimensionado, garantindo total funcionalidade e desempenho, como se cada servidor virtual estivesse em servidores físicos dedicados.

Este tipo de consolidação não só permite obter resultados significativos em termos de poupança de energia e espaço, como possibilita às empresas uma melhor utilização dos recursos disponíveis, acabando com a tendência de ter um servidor por aplicação ou serviço, como ainda é bastante comum encontrar. É certo que a separação física de serviços por servidores 100% dedicados tem as suas vantagens, como garantir que várias aplicações não são afectadas por problemas em um único equipamento, mas está-se a chegar à conclusão que só o desperdício de utilização de recursos, e consequentemente do investimento nesses recursos, justificam a consolidação. O dinheiro que iria ser investido em mais hardware pode ser redireccionado para soluções de alta disponibilidade e recuperação de desastres, minimizando o impacto no caso de problemas de hardware.



**Figura 2.2 - Exemplo de cenário de virtualização**

As várias empresas que oferecem soluções de virtualização tem hoje uma oportunidade única de mostrar as potencialidades da sua tecnologia, com o mercado muito atento a como utilizar soluções virtualizadas para o crescimento e desenvolvimento sustentável dos seus centros de dados (e da sua empresa).

A VMware, um dos *players* líderes neste mercado e com certeza um dos mais conhecidos, e cujo desenvolvimento tem sido mais notório nos últimos anos, é um dos claros exemplos, defendendo que a virtualização ajuda as empresas a diminuir o *Total Cost of Ownership (TCO)* de um centro de dados, ou em português o custo total de propriedade, que se refere a todos os custos associados à existência de um centro de dados de uma empresa. Para este cálculo sugere a comparação entre um ambiente virtualizado frente a um ambiente não virtualizado, e calcula as poupanças respectivas<sup>[8]</sup>.

Como as suas concorrentes, a VMWare tem soluções que permitem redireccionar os recursos pelos vários servidores virtuais, de forma a aproveitar ao máximo esses recursos e garantir o máximo desempenho<sup>[9]</sup>.

No entanto a virtualização retira às empresas a granularidade necessária para a devida repartição dos custos relacionados com consumos energéticos, seja interno (*Chargeback*), seja externo, para os seus clientes. As empresas passam a poder controlar o consumo agregado de todos os servidores virtuais, sem ter como repartir justamente esse custo por cada servidor, mas será essa informação importante?

A resposta é claramente, Sim!! Com variadíssimos serviços a ser executados em distintos servidores virtuais dentro do mesmo equipamento físico, é fácil aceitar que a carga de trabalho de cada serviço não será igual nem constante, portanto podemos assumir que alguns serviços utilizarão mais recursos que outros, e isso será variável conforme o dia, hora, e procura desse serviço. Sendo assim, torna-se extremamente relevante para uma empresa que queira fazer uma gestão eficiente dos seus recursos e consumos energéticos, saber quanto cada um dos servidores virtuais contribuiu para o consumo do servidor físico, num determinado período de tempo, e a única forma de o fazer é associar a carga de trabalho (utilização de CPU e escrita em disco) aos consumos energéticos.

### **2.3.2. Power Zones**

Com o conhecimento inequívoco do consumo energético de cada equipamento IT do centro de dados, aliado com a análise de desempenho e carga esperada desses mesmo equipamentos, torna-se possível uma optimização da energia utilizada com a simples reorganização e distribuição dos equipamentos pelo centro de dados.

Com equipamentos mais densos a gerar mais calor, a necessidade de arrefecimento é mais exigente. Com a separação física no centro de dados de equipamentos consoante a sua densidade energética (e consequente emissão de calor), é possível optimizar o sistema de arrefecimento, aplicando mais esforço nas zonas mais densas, e menos nas zonas menos densas.

Esta distribuição em muitos casos pode significar um menor esforço no sistema de arrefecimento, implicando uma redução da energia consumida.



Como qualquer medida deve ser adaptada caso a caso, e a análise de investimento frente ao ganho desta operação deve ser muito bem contabilizada. De qualquer forma um facto é inevitável, a opção ou não de avançar com uma solução como esta, e a respectiva análise de ganhos proveniente da mesma só pode ser realizada com a medição e recolha de métricas de eficiência energética.

### **2.3.3. Distribuição de picos de carga**

Existem inúmeros exemplos de atitudes que se podem tomar para otimizar a energia utilizada em centros de dados, adaptando-se a cada realidade, quando a informação necessária está a ser recolhida.

Com a energia consumida pelas infra-estruturas de TI directamente relacionadas com a carga que nessas infra-estruturas é aplicada, a recolha do consumo energético alinhada com a recolha de métricas de desempenho físicas dos equipamentos pode ajudar a identificar pontos de optimização na forma como essa mesma infra-estrutura é utilizada.

Dependendo da tarifação aplicada à energia eléctrica em cada país, a distribuição da carga de processamento de um sistema para horas do dia quando a energia tem um custo inferior pode resultar em reduções significativas no consumo energético do TI.

Embora em muitos casos essa distribuição de carga pode não ser possível, em outros pode se traduzir numa alteração de configuração sem custos associados, e com resultados imediatos.

### **2.3.4. Contribuição dos fabricantes de hardware**

Como já referido anteriormente, a corrida pela oportunidade levantada pela crescente preocupação com a utilização e optimização em ambientes TI não passou despercebido aos grandes fabricantes de hardware, que oferecem já hoje diversas soluções e produtos que prometem ajudar empresas a reduzir a sua pegada de carbono no planeta. Os

seguintes parágrafos ilustram um dos grandes problemas com as ofertas de cada uma dessas entidades. Embora as suas soluções sejam válidas e a sua eficácia não seja posta em causa, todas prometem gerir os SEUS equipamentos melhor que a concorrência. Esta promessa é perigosa, pois duas contradições estão em causa:

Se todos oferecem soluções integradas para as suas soluções, o que acontece aos componentes de TI que não fazem parte da sua família de produtos? Precisamos de ter um sistema de gestão por fabricante? E a gestão integrada e centralizada?

### **IBM – Smart IT Infrastructure**

#### *IBM® Systems Director Active Energy Manager<sup>[12]</sup>*

*IBM® Systems Director Active Energy Manager Version 3.1.1* mede, monitoriza e gere a energia dos componentes suportados por sistemas IBM, fornecendo uma gestão transversal à arquitectura. *Active Energy Manager* estende o âmbito da gestão energética, para permitir aos responsáveis pelas instalações técnicas incluir mais informação, que permita uma visão mais global do consumo energético do centro de dados.

O Active Energy Manager é uma extensão do IBM Director, que suporta os seguintes componentes: IBM BladeCenter®, POWER, Servidores System x e System z. sistemas de armazenamento IBM, e componentes não IBM, por suporte PDU+. Adicionalmente pode colectar informação de sistemas como Liebert SiteScan da Emerson Network Power e SynapSense.

As funcionalidades de monitorização e gestão estão disponíveis para todos os sistemas IBM que suportam o IBM Systems Director Active Energy Manager V3.1.1. Essa funcionalidades incluem power trending, thermal trending, PDU+ e suporte para os gestores de instalações.

## **Dell – Make IT Greener<sup>[13]</sup>**

A Dell tem feito um grande esforço no sentido de promover a eficiência energética dos seus servidores. Este esforço é patente no programa Make IT Greener onde demonstra por meio de um estudo pedido à SPEC<sup>[10]</sup>, que compara a performance/Watt dos seus servidores frente aos seus concorrentes directos, a HP e a IBM.

A Dell alega como principais vantagens dos seus servidores os seguintes pontos:

- Os produtos Energy Smart, certificação interna que abrange os novos sistemas energeticamente eficientes, estão já prontos e disponíveis para fazer a diferença para o negócio;
- Os servidores Dell Energy Smart são até 28% mais eficiente que os servidores regulares;

Nota: Estes dados foram retirados do DCCP 2.0 (Capacit Planning Tool) que compara os watts consumidos por vários servidores Dell 2950 com configurações semelhantes, e os Dell 2950 com o sistema Energy Smart. Os ganhos energéticos derivam principalmente de processadores de baixa tensão, Discos duros de 2,5” vs 3,5”, memórias de alta eficiência e configurações de hardware.

- Maximiza a performance para a energia consumida;
- Os servidores blade da Dell consomem até 19% menos energia que os da HP;

Algumas das ofertas da Dell, alinhadas com a optimização energética, incluem:

- Dell and Energy Star
- Dell PowerEdge Servers: Addressing Your Energy Needs
- Dell Energy Smart Power Supplies
- Dell Energy Smart System Design
- Dell Active Power Controller (DAPC)

- High-Efficiency Processors and Memory
- Dell Energy Smart Management

Nota Incorpora um aumento significativo de funcionalidade frente às versões mais antigas, como power capping, advanced power policies, power scheduling, e device disablement.

### **HP - Energy & Space Efficiency** <sup>[14]</sup>

A oferta da HP acaba por ser a mais vaga, onde defende que a sua oferta HP Energy and Space Efficiency ajuda a otimizar a utilização de energia, espaço no centro de dados e infra-estrutura de arrefecimento. A sua solução ajuda as organizações a suportar mais recursos computacionais por Watt e por metro, ajuda a atingir com exigências actuais e futuras do negócio, reduz custos energéticos e previne ou reduz a necessidade de contruir mais espaço físico. Estas soluções incluem:

- Optimização de espaço
- Computação energeticamente eficiente
- Infra-estruturas energeticamente eficientes

### **3. Sistema de monitorização**

O objectivo deste mestrado, como já referido anteriormente, passa pela criação de um sistema de monitorização energética em tempo real que permita às organizações conhecer cada componente da sua infra-estrutura no que respeita ao comportamento energético. Só assim será possível otimizar ao máximo o consumo energético, executando testes agregados ou com a granularidade de cada componente. Na verdade a real inovação desta tese de mestrado é essa, a capacidade de conhecer o detalhe energético de cada componente específico, em tempo real, permitindo agregar e analisar com qualquer configuração que, para o gestor do centro de dados, faça sentido. Todas as outras soluções existentes no mercado ou estão focadas nos seus componentes, ou oferecem uma visão agregada do centro de dados, mas nenhum se propõe a estudar componente a componente.

É exactamente essa granularidade que permitirá às organizações auto-educar-se, e definir planos realistas e acompanhar o progresso desses planos ao longo do tempo. Além de também permitir a execução de virtualmente qualquer teste, uma vez que a informação referente ao consumo energético é conhecida equipamento a equipamento em tempo real, permite a análise comportamental e estudo de tendência baseado em informação histórica granular.

Com a monitorização a ser realizada em tempo real, será possível definir alarmes que alertem os gestores dos centros de dados, quando algum parâmetro foge do “normal”, assim como incluir métricas ambientais, como temperatura, humidade, AVAC, luzes, etc.. para enriquecer essa informação.

Embora no âmbito inicial estejamos a considerar equipamentos do centro de dados, os planos futuros passam por incluir todos os outros equipamentos que consomem energia dentro da organização, como PCs e Laptops, Impressoras, Ar condicionado, etc..

Neste momento já existe um projecto em curso, com a colaboração da Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, para expansão deste piloto a

toda a infra-estrutura da Mainroad<sup>[11]</sup> e dos seus clientes. O objectivo passa pela criação de um serviço de gestão energética granular e em tempo real, que resulte numa maior disponibilidade e fiabilidade dos centros de dados geridos pela Mainroad<sup>[11]</sup>, assim como numa redução significativa de custos e crescimento futuro sustentável.

### **3.1.Módulos específicos utilizados no sistema de monitorização**

#### **PDU Raritan Dominion PX**

Um PDU (Power Distribution Unit) é um aparelho utilizado em ambientes de IT para distribuição de energia pelos vários equipamentos instalados num bastidor. Tratam-se de “fichas triplas” robustas, com uma serie de funcionalidades específicas de gestão energética.



Neste caso específico os PDU's escolhidos oferecem uma funcionalidade única (até à data) no mercado, crucial para a realização desta tese. Os PDU's utilizados permitem o acesso via SNMP do consumo energético instantâneo de cada tomada, permitindo a monitorização em tempo real do consumo energético ao nível do equipamento, e não ao nível do bastidor ou do circuito.

Esta informação será recolhida e agregada num sistema de gestão central, permitindo conhecer o consumo energético de cada aparelho ligado a cada tomada do PDU.

## **CA eHealth Performance Manager 6.1**

O CA eHealth é uma ferramenta de monitorização de desempenho líder de mercado, utilizada para recolha, tratamento e análise de métricas de desempenho, sejam instantâneas sejam de tendências, recorrendo a análise histórica dos dados recolhidos.

A utilização desta ferramenta deveu-se a três factores críticos, que ajudam a garantir o sucesso deste projecto. Em primeiro lugar a capacidade de recolha e tratamento de dados de performance, perfeitamente alinhados com as necessidades específicas para este piloto. Depois, pesou também o facto da ferramenta permitir ser adaptada às especificidades do PDU utilizado, o que nos permite recolher as métricas que necessitamos. Como os PDU' não são suportados oficialmente pelo fabricante CA, esta funcionalidade é imprescindível. A recolha de métricas de performance base de sistema operativo foi feita com auxílio ao agente SysEDGE (descrito mais à frente), que permite fazer a ponte entre a utilização dos recursos do sistema operativo e o eHealth. Em terceiro lugar, e não menos importante, o facto de ser uma ferramenta já existente na infra-estrutura de gestão da Mainroad<sup>[11]</sup>. Aparte de não ser necessário adquirir licenças adicionais de qualquer outro produto, o know-how já existente na empresa garante que será utilizada dentro das suas máximas capacidades, tornando este um sistema robusto e fiável.

Este sistema foi utilizado para recolha de métricas de sistema operativo do PC, do sistema operativo das máquinas virtuais executadas nesse PC, e do consumo energético recolhido pelo PDU.

## **CA SystemEDGE Agent 4.3**

O CA SystemEDGE é um agente de sistema que integra com vários sistemas de monitorização. Este agente é instalado no servidor que se pretende monitorizar, e aparte das capacidades de monitorização do sistema operativo pela detecção de situações previamente configuradas permite expandir as suas capacidades de recolha de métricas. Este software foi especialmente útil para tornar possível o acompanhamento de certas métricas específicas que foram alvo de análise em cada um dos testes.

### **JAM Software – Heavy Load**

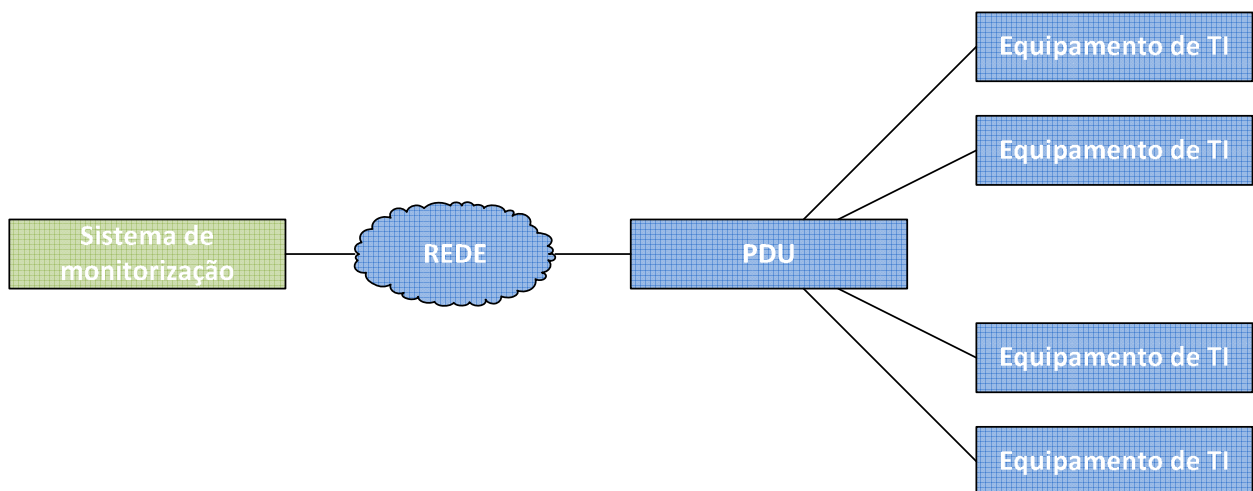
O Heavy Load é um software de carga, utilizado para consumir recursos físicos de um servidor para efeitos de testes. Este software permite-nos forçar o CPU e a memória do servidor aos 100% de utilização.

### **Joe Dog Software – Siege**

O Siege é um software de carga http para testes e benchmarking. Foi desenhado para ajudar programadores Web a medir a capacidade do seu software quando expostos a grandes cargas de utilização. O Siege suporta autenticação básica, cookies, protocolos HTTP e HTTPS. Permite aos seus utilizadores simular o acesso a um servidor Web simulando vários browsers simultâneos.

## **3.2.Descrição do protótipo**

O protótipo foi montado sobre um ambiente muito limitado, com o objectivo de realizar testes de carga, e validar a relevância da informação obtida pelo sistema de monitorização energética. Esta arquitectura pretende simular um ambiente real, onde esta solução poderia ser utilizada.



**Figura 3.1 – Arquitectura do protótipo desenvolvido**



Utilizando os módulos apresentados anteriormente, o sistema piloto foi montado segundo a arquitectura descrita no diagrama da Figura 3.3.

O sistema sobre o qual se recolheram amostras é um Windows Server 2003 onde foi instalado o agente System EDGE e o software anfitrião da VMWare para execução de máquinas virtuais. Neste servidor foi instalado e configurado um servidor Web Apache Tomcat 5.5, que suportará 3 aplicações de testes, desenvolvidas para efeitos desta tese.

Duas máquinas virtuais foram criadas, uma com Windows Server 2003 e outra com Linux Ubuntu 10. Em ambas foi instalado e configurado um servidor Apache Tomcat 5.5, com as mesmas configurações e aplicações que no servidor físico.

Foram desenvolvidas 3 aplicações Web em Java, para permitir a simulação de carga Web e respectivos impactos no consumo da infra-estrutura física que a suporta as 3 aplicações são descritas em seguida:

**Static Web Page** – Esta é uma página estática, onde só é exibido um texto de boas vindas. A invocação desta página é feita pelo seguinte link:  
<http://<<IP>>:<<Porta>>/Static>

**Servlet Web Page** – Esta página é executada num servlet, que lê um ficheiro de configuração com um número inteiro, e imprime na página Web os números de 1 até esse número. A invocação desta página é feita pelo seguinte link:  
<http://<<IP>>:<<Porta>>/Servlet>

**DB Servlet Web Page** – Esta página é executada num servlet, que lê uma coluna de uma tabela de uma base de dados em Microsoft SQL Server 2005, e imprime na página Web todos os números que estiverem nessa coluna. A invocação desta página é feita pelo seguinte link: <http://<<IP>>:<<Porta>>/DBServlet>

A alimentação de corrente do servidor é feita pela PDU utilizada, garantindo acesso às métricas de consumo energético do servidor ao longo do tempo.

O sistema de monitorização utilizado, o CA eHealth 6.1, foi configurado para extrair métricas de sistema operativo dos servidores físicos e virtuais (CPU utilizado, memória livre, escrita e leitura em disco rígido), assim como as métricas referentes ao consumo energético do servidor (Watts, Volts, Amperes).

A recolha de dados é feita a cada 30 segundos, e recolhe os valores instantâneos de cada uma dessas métricas. Assim, ao garantir uma monitorização constante, podemos identificar alterações de comportamento que nos permitem apurar o impacto no consumo energético consoante a aplicação de diferentes cargas de trabalho nos servidores de teste.

Depois de recolher as métricas necessárias, o sistema de monitorização agrega e organiza os dados de forma a estarem disponíveis para relatórios, sejam out-of-the-box sejam à medida, tornando esta solução adaptável a qualquer ambiente e qualquer tipo de teste de eficiência energética.

## **4. Exemplos de aplicação do sistema**

Com o ambiente piloto montado, e limitado às condições disponíveis para testes, foram realizados alguns testes de análise de impacto do consumo energético consoante distintas cargas de trabalho, em diferentes componentes do servidor de testes utilizado.

Os testes foram realizados em duas fases distintas, tendo sido utilizados 2 servidores distintos, referidos a partir deste ponto como Servidor 1 e Servidor 2. As características dos servidores utilizados são as seguintes:

### **Servidor 1**

Lenovo ThinkVantage

- CPU: Intel(R) Core(TM)2 CPU 4300@1800GHz
- Memória RAM: 2GB RAM
- Disco rígido: 1 disco rígido com 80GB e duas partições: C:20GB e D:60GB

### **Servidor 2**

HP ProLiant DL140 G2

- CPU: Intel(R) Xeon 3400GHz
- Memória RAM: 2GB RAM
- Disco rígido: 1 disco rígido com 80GB e uma partição: C:80GB

## 4.1. Testes com servidor desligado

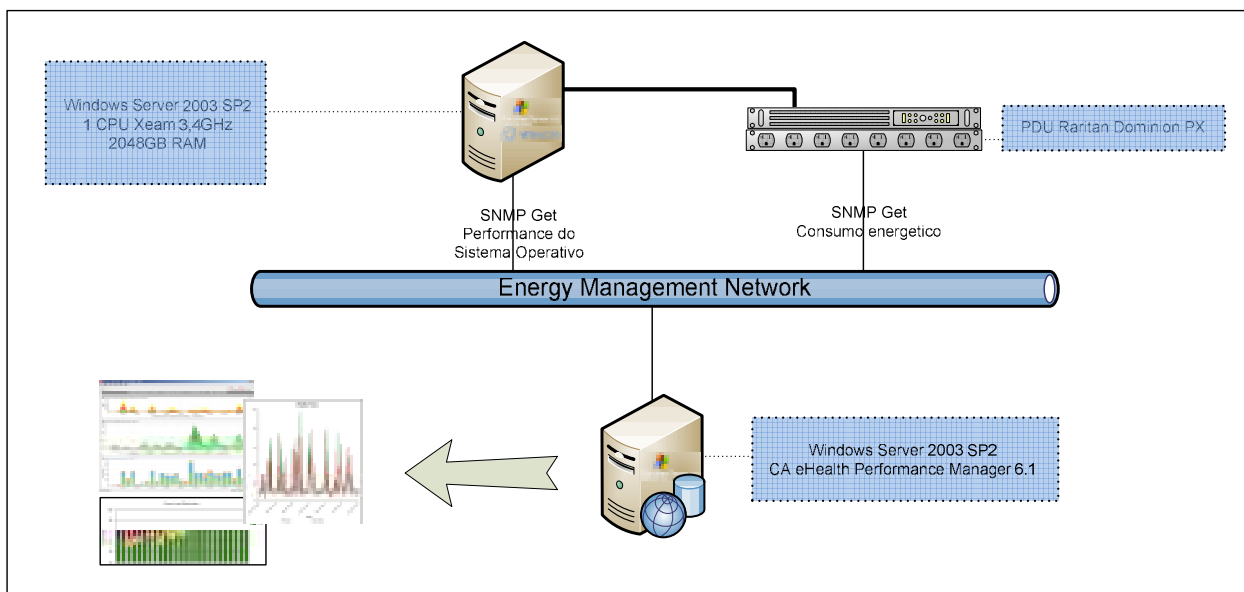
### Objectivo

Apurar o consumo do servidor quando o mesmo encontra-se desligado

### Servidor Monitorizado

Servidor 2

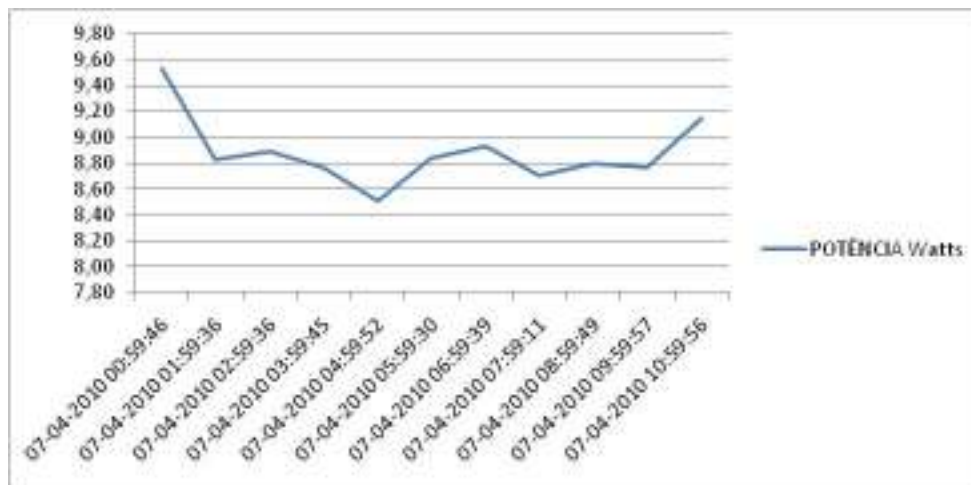
### Esquema de teste



### Método

Monitorização do consumo durante 5 minutos com o servidor desligado

## Resultados



	POTÊNCIA Watts
07-04-2010 00:59:46	9,53
07-04-2010 01:59:36	8,82
07-04-2010 02:59:36	8,90
07-04-2010 03:59:45	8,77
07-04-2010 04:59:52	8,51
07-04-2010 05:59:30	8,84
07-04-2010 06:59:39	8,93
07-04-2010 07:59:11	8,71
07-04-2010 08:59:49	8,80
07-04-2010 09:59:57	8,76
07-04-2010 10:59:56	9,15
Media	8,88
Desvio	0,27
Mínimo	8,51
Máximo	9,53
Variação	1,03

## Conclusões

O servidor desligado consome em média 8,88 watts.

## 4.2. Testes com servidor em repouso

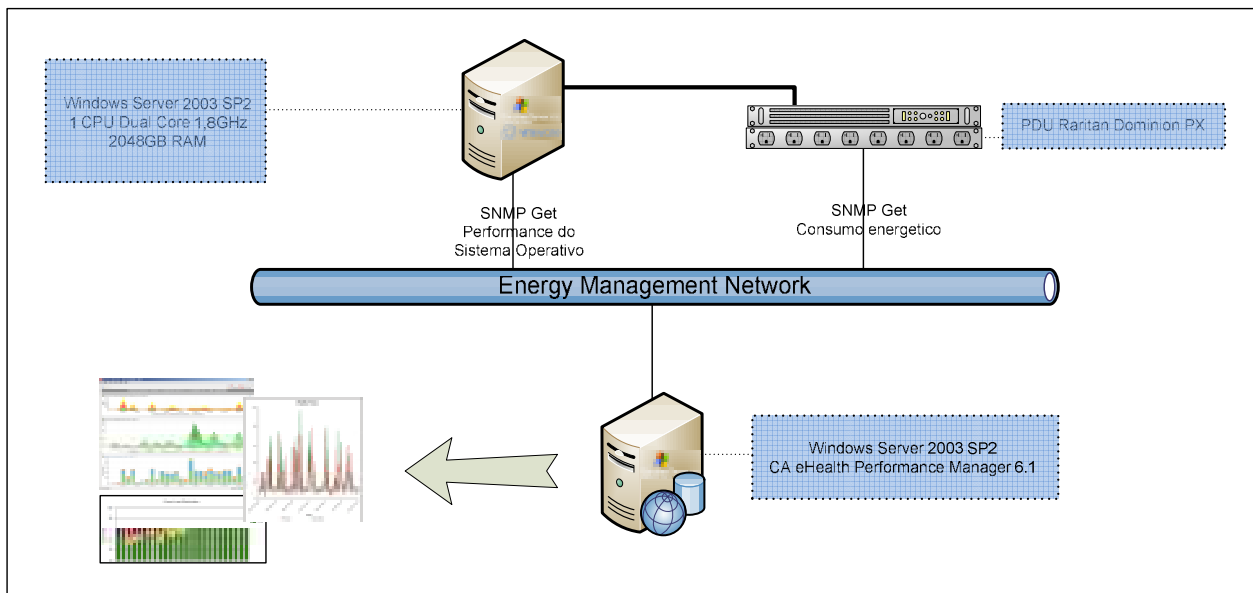
### Objective

Apurar o consumo do servidor quando o mesmo encontra-se em repouso

### Servidor Monitorizado

Servidor 1

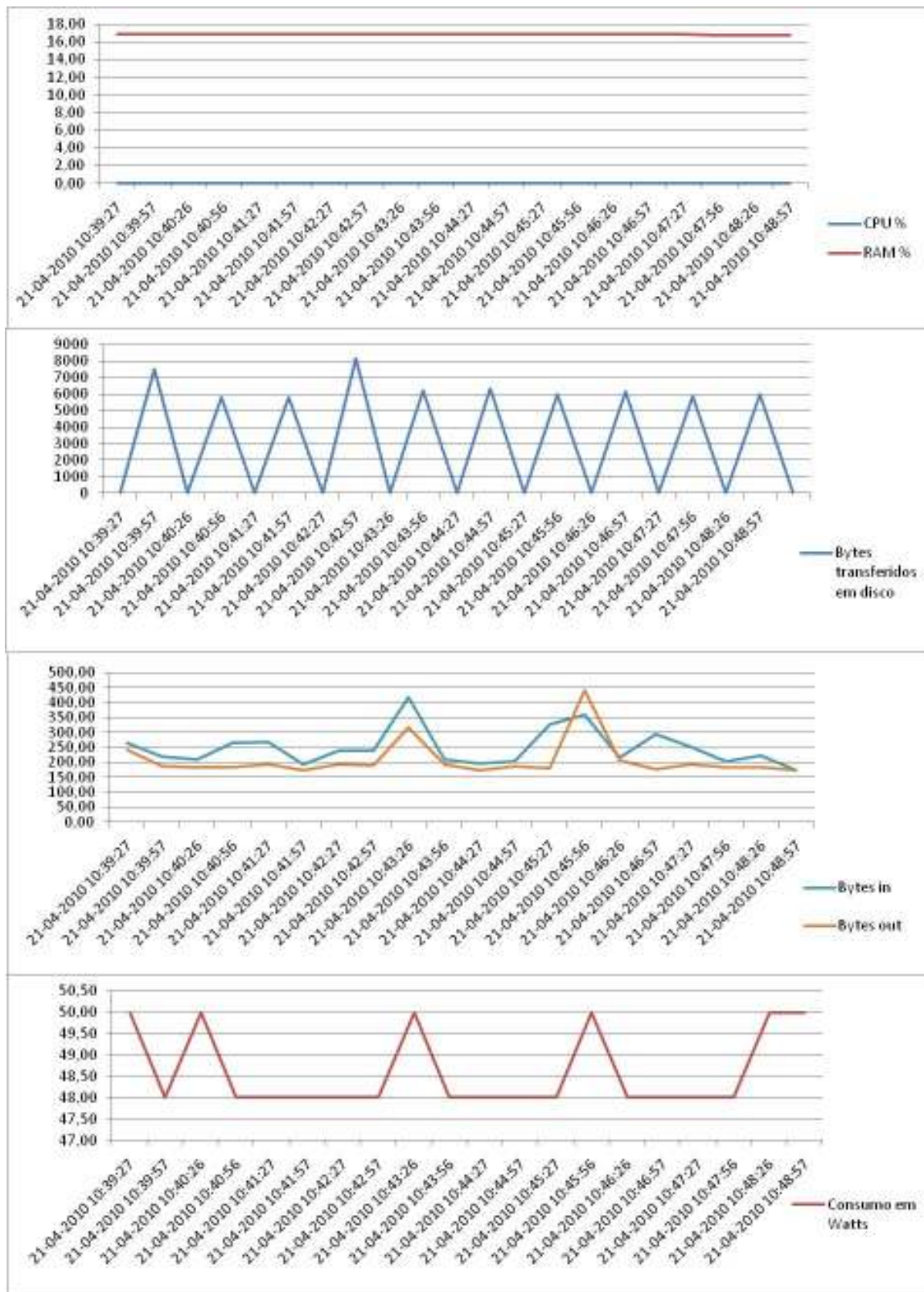
### Esquema de teste



### Método

Monitorização do consumo do servidor ligado durante 10 minutos, sem carga nenhuma adicional

## Resultados



	CPU	MEMÓRIA	DISCO	REDE		POTÊNCIA
	utilização %	utilização %	bytes transferidos	bytes recebidos	bytes enviados	Watts
21-04-2010 10:39:27	0,00	16,92	7509,33	264,20	242,23	50,00
21-04-2010 10:39:57	0,00	16,91	0,00	218,83	187,77	48,00
21-04-2010 10:40:26	0,00	16,91	5790,90	209,69	183,76	50,00
21-04-2010 10:40:56	0,00	16,91	0,00	265,00	182,07	48,00
21-04-2010 10:41:27	0,00	16,91	5813,68	267,90	193,10	48,00
21-04-2010 10:41:57	0,00	16,91	0,00	192,73	172,57	48,00
21-04-2010 10:42:27	0,00	16,91	8192,00	238,63	192,47	48,00
21-04-2010 10:42:57	0,00	16,91	0,00	240,33	191,37	48,00
21-04-2010 10:43:26	0,00	16,92	6214,62	419,62	316,66	50,00
21-04-2010 10:43:56	0,00	16,91	0,00	208,10	192,03	48,00
21-04-2010 10:44:27	0,00	16,91	6342,19	197,39	173,77	48,00
21-04-2010 10:44:57	0,00	16,87	0,00	204,10	185,53	48,00
21-04-2010 10:45:27	0,00	16,87	6007,47	325,47	181,00	48,00
21-04-2010 10:45:56	0,00	16,87	0,00	360,86	440,10	50,00
21-04-2010 10:46:26	0,00	16,86	6144,00	214,40	207,37	48,00
21-04-2010 10:46:57	0,00	16,86	0,00	295,06	178,10	48,00
21-04-2010 10:47:27	0,00	16,86	5870,93	250,87	194,67	48,00
21-04-2010 10:47:56	0,00	16,80	0,00	203,72	182,69	48,00
21-04-2010 10:48:26	0,00	16,80	6007,47	223,33	182,43	50,00
21-04-2010 10:48:57	0,00	16,80	0,00	174,52	173,39	50,00
<b>Media</b>	0,00	16,88	3194,63	248,74	207,65	48,60
<b>Desvio</b>	0,00	0,04	3324,23	61,58	63,55	0,94
<b>Mínimo</b>	0,00	16,80	0,00	174,52	172,57	48,00
<b>Máximo</b>	0,00	16,92	8192,00	419,62	440,10	50,00
<b>Variação</b>	0,00	0,11	8192,00	245,10	267,54	2,00

## Conclusões

O servidor consumiu uma média de 48,60 Watts, que representa cerca de 65% do consumo máximo do servidor.



## 4.3. Testes de carga com variações de CPU

### 4.3.1. CPU a 100%

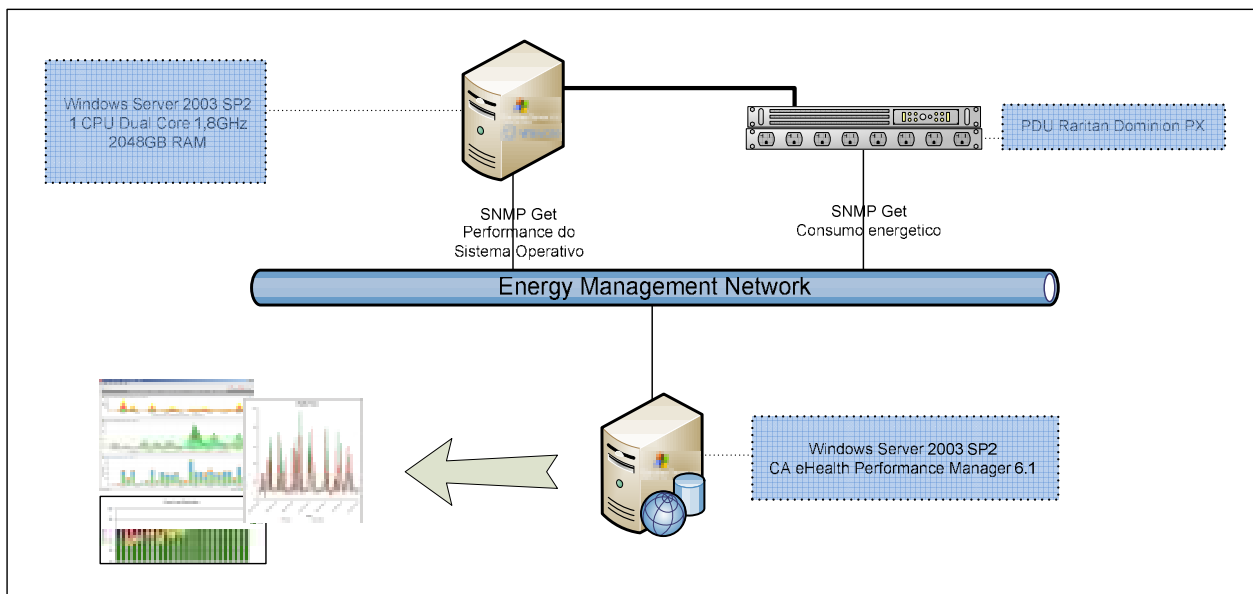
#### Objectivo

Avaliar qual o impacto da carga máxima do CPU no consumo energético do servidor.

#### Servidor Monitorizado

Servidor 1

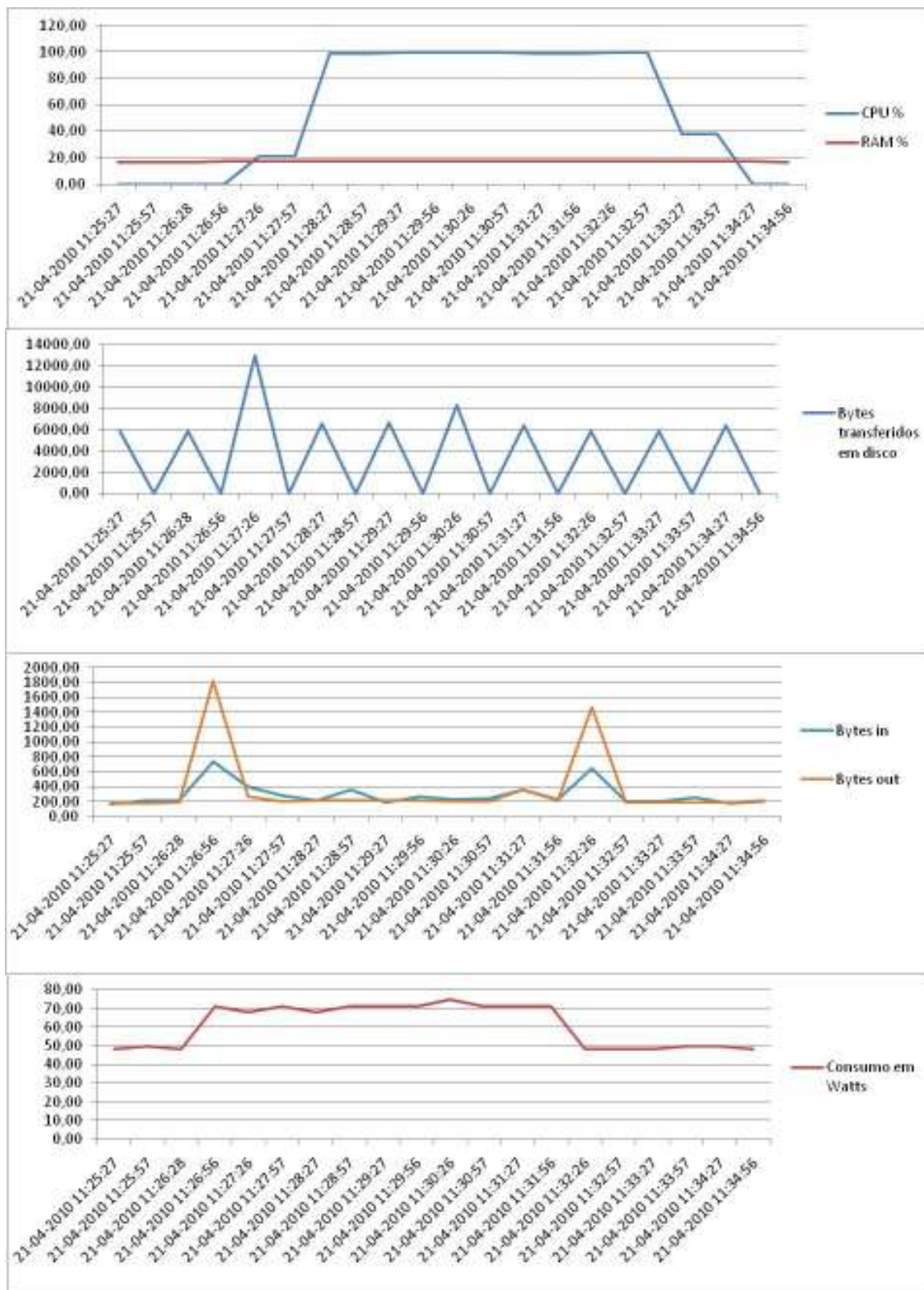
#### Esquema de teste



#### Método

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de carga de CPU utilizando a ferramenta de carga HeavyLoad durante 5 minutos, e monitorização do consumo do servidor durante esse período;
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após ser retirada a carga de CPU;

## Resultados



	CPU	MEMÓRIA	DISCO	REDE		POTÊNCIA
	utilização %	utilização %	bytes transferidos	bytes recebidos	bytes enviados	Watts
21-04-2010 11:25:27	0,00	16,88	5813,68	170,65	178,10	48,00
21-04-2010 11:25:57	0,00	16,88	0,00	216,13	182,30	50,00
21-04-2010 11:26:28	0,00	16,88	5813,68	217,55	195,58	48,00
21-04-2010 11:26:56	0,00	17,10	0,00	743,82	1825,71	71,00
21-04-2010 11:27:26	21,00	17,15	13004,80	399,10	276,20	68,00
21-04-2010 11:27:57	21,00	17,15	0,00	281,06	200,10	71,00
21-04-2010 11:28:27	99,00	17,15	6606,45	221,27	212,97	68,00
21-04-2010 11:28:57	99,00	17,15	0,00	362,93	221,00	71,00
21-04-2010 11:29:27	99,50	17,14	6690,13	191,67	212,27	71,00
21-04-2010 11:29:56	99,50	17,14	0,00	265,90	213,79	71,00
21-04-2010 11:30:26	99,50	17,14	8328,53	229,83	209,30	75,00
21-04-2010 11:30:57	99,50	17,14	0,00	238,29	203,87	71,00
21-04-2010 11:31:27	99,00	17,14	6417,07	355,70	357,77	71,00
21-04-2010 11:31:56	99,00	17,14	0,00	225,14	217,34	71,00
21-04-2010 11:32:26	99,50	16,92	5870,93	644,53	1464,10	48,00
21-04-2010 11:32:57	99,50	16,93	0,00	205,90	193,45	48,00
21-04-2010 11:33:27	38,00	16,93	5813,68	202,63	189,47	48,00
21-04-2010 11:33:57	38,00	16,92	0,00	260,23	185,83	50,00
21-04-2010 11:34:27	0,00	16,92	6417,07	176,33	189,40	50,00
21-04-2010 11:34:56	0,00	16,89	0,00	206,17	213,79	48,00
<b>Media</b>	55,55	17,03	3538,80	290,74	357,12	60,85
<b>Desvio</b>	46,26	0,12	3938,02	152,04	446,08	11,40
<b>Mínimo</b>	0,00	16,88	0,00	170,65	178,10	48,00
<b>Máximo</b>	99,50	17,15	13004,80	743,82	1825,71	75,00
<b>Variação</b>	99,50	0,28	13004,80	573,18	1647,62	27,00

## Conclusão

O servidor teve um acréscimo de 27 Watts, atingindo o seu valor máximo de consumo (75Watts). A carga de CPU de 100% representou um acréscimo de cerca de 35% no consumo instantâneo do servidor.

### 4.3.2. Carga crescente de CPU

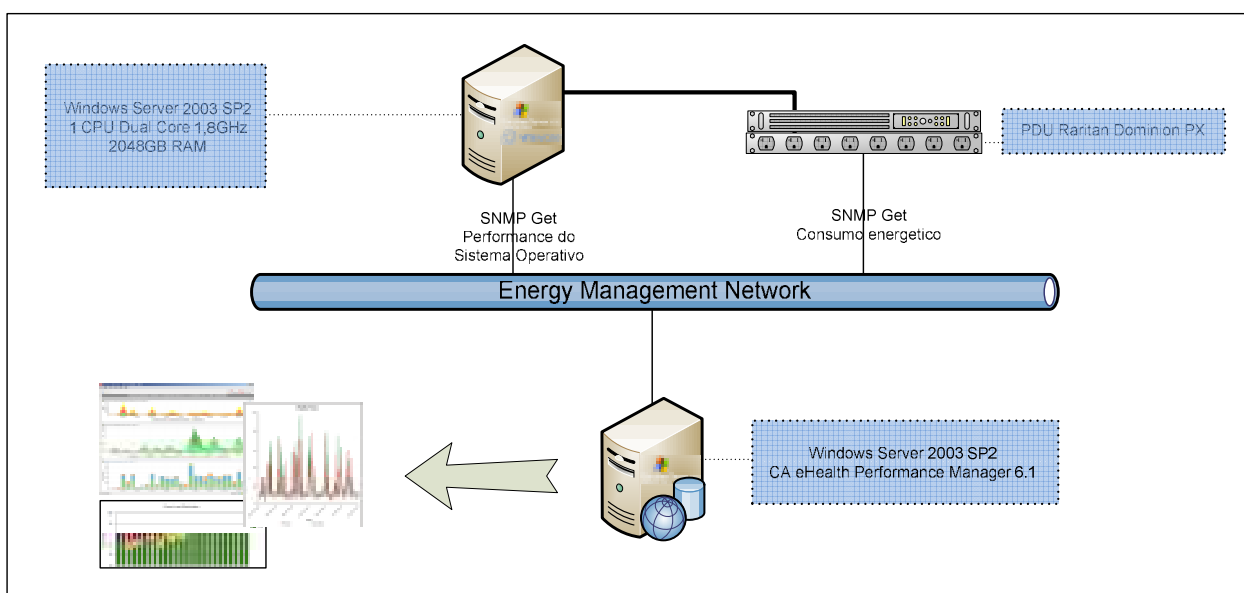
#### Objectivo

Avaliar como varia o consumo do servidor, quando diferentes cargas de CPU são aplicadas.

#### Servidor Monitorizado

Servidor 1

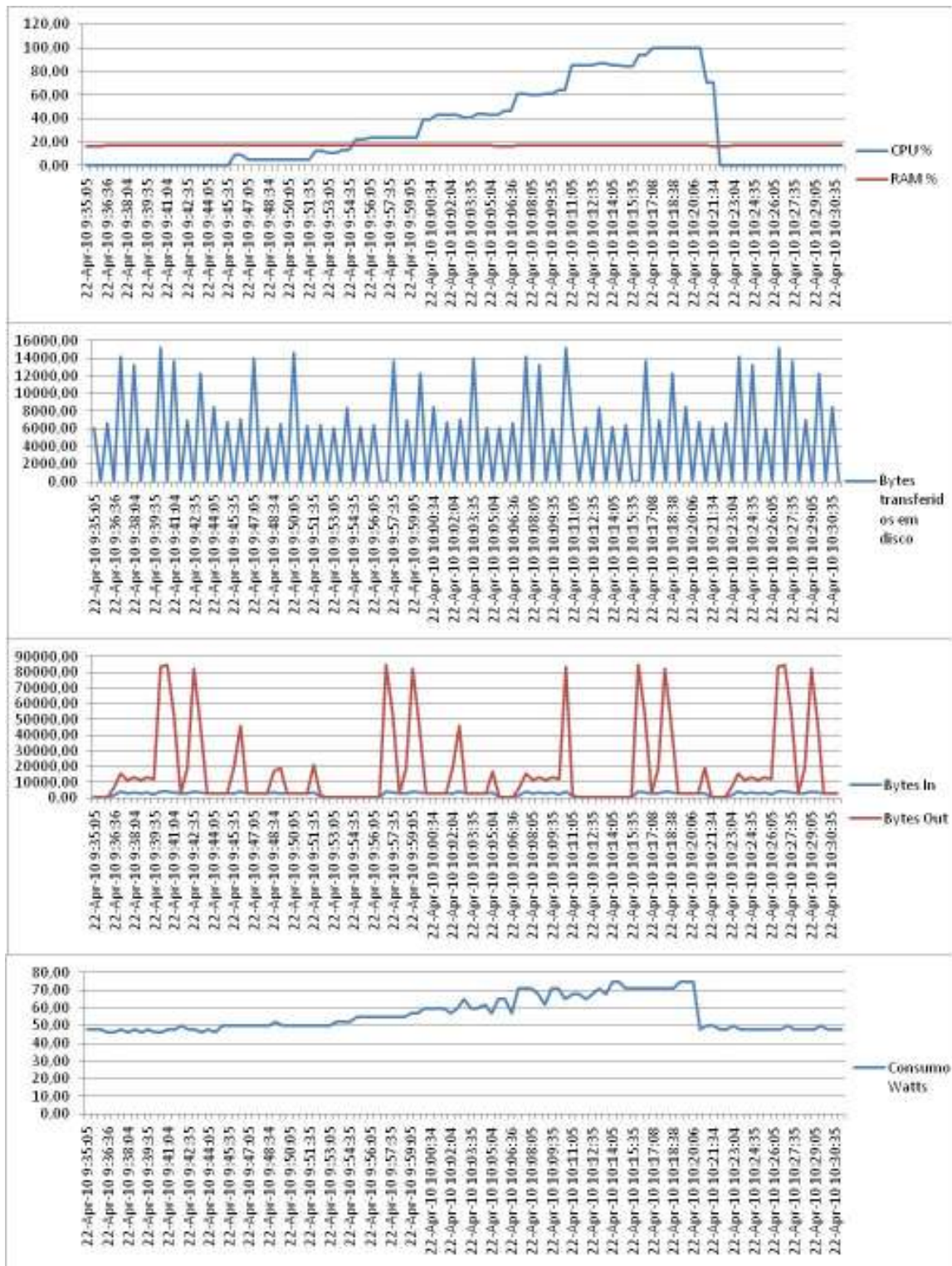
#### Esquema de teste



#### Método

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de carga de CPU utilizando um programa desenvolvido para o efeito, que aplica um ciclo infinito com períodos de pausas de 1 segundo entre cada ciclo. Este programa foi executado várias vezes em simultâneo para atingir os patamares de utilização de CPU pretendidos.
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após serem fechadas todas as páginas Web.

## Resultados



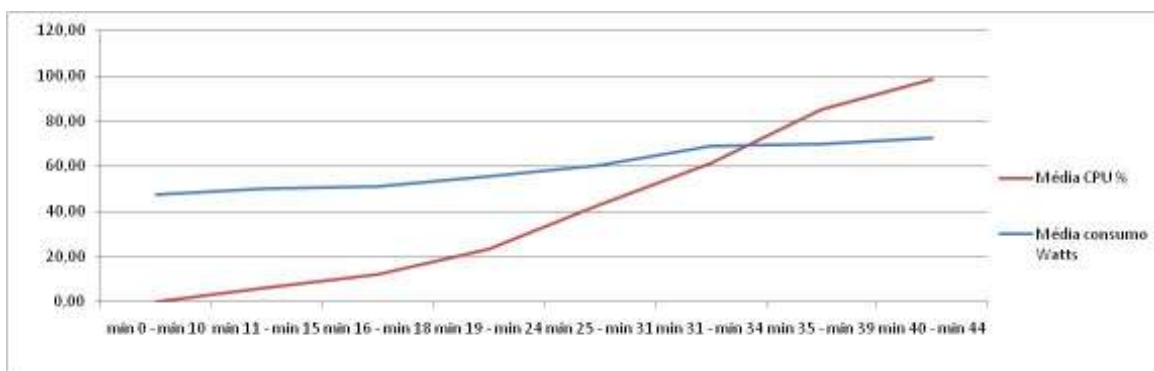
	CPU	MEMÓRIA	DISCO	REDE		POTÊNCIA
	utilização %	utilização %	bytes transferidos	bytes recebidos	bytes enviados	Watts
22-Apr-10 9:35:05	0,00	16,82	6144,00	444,83	316,20	48,00
22-Apr-10 9:35:34	0,00	16,82	0,00	197,63	185,03	48,00
22-Apr-10 9:36:04	0,00	16,82	6638,34	302,79	340,03	48,00
22-Apr-10 9:36:36	0,00	16,89	0,00	1831,87	6165,32	46,00
22-Apr-10 9:37:05	0,00	16,96	14203,87	3969,00	15421,77	46,00
22-Apr-10 9:37:35	0,00	16,96	0,00	2962,87	11266,33	48,00
22-Apr-10 9:38:04	0,00	16,95	13243,73	3373,00	13401,03	46,00
22-Apr-10 9:38:34	0,00	16,95	0,00	2841,03	11440,10	48,00
22-Apr-10 9:39:05	0,00	16,95	6007,47	3276,84	12903,52	46,00
22-Apr-10 9:39:35	0,00	16,99	0,00	2331,97	11928,77	48,00
22-Apr-10 9:40:05	0,00	16,99	15189,33	4135,60	83196,90	46,00
22-Apr-10 9:40:34	0,00	17,03	0,00	4042,17	84671,03	46,00
22-Apr-10 9:41:04	0,00	17,02	13629,79	3574,34	53363,21	48,00
22-Apr-10 9:41:35	0,00	17,01	0,00	2688,27	2712,37	48,00
22-Apr-10 9:42:05	0,00	17,00	6963,20	3078,42	18668,36	50,00
22-Apr-10 9:42:35	0,00	17,04	0,00	4176,23	82331,57	48,00
22-Apr-10 9:43:04	0,00	17,08	12188,90	3357,58	45424,26	48,00
22-Apr-10 9:43:34	0,00	17,08	0,00	2736,89	2757,29	46,00
22-Apr-10 9:44:05	0,00	17,07	8465,07	2681,26	2659,39	48,00
22-Apr-10 9:44:35	0,00	17,11	0,00	2731,77	2737,07	46,00
22-Apr-10 9:45:05	0,00	17,09	6690,13	2731,27	2747,97	50,00
22-Apr-10 9:45:35	0,00	17,11	0,00	3087,83	19494,13	50,00
22-Apr-10 9:46:04	9,00	17,17	7062,07	3748,53	45792,93	50,00
22-Apr-10 9:46:35	9,00	17,17	0,00	2725,37	2726,93	50,00
22-Apr-10 9:47:05	5,50	17,17	13939,61	2836,80	2865,97	50,00
22-Apr-10 9:47:35	5,50	17,17	0,00	2776,03	2743,50	50,00
22-Apr-10 9:48:05	5,00	17,15	6144,00	2806,97	2753,87	50,00
22-Apr-10 9:48:34	5,00	17,17	0,00	3277,79	16552,83	50,00
22-Apr-10 9:49:04	5,50	17,25	6553,60	3112,94	18973,45	52,00
22-Apr-10 9:49:35	5,50	17,23	0,00	2667,39	2660,03	50,00
22-Apr-10 9:50:05	5,50	17,20	14643,20	2692,00	2732,87	50,00
22-Apr-10 9:50:35	5,50	17,23	0,00	2756,13	2746,87	50,00
22-Apr-10 9:51:05	5,50	17,26	6355,86	2885,29	2879,96	50,00
22-Apr-10 9:51:35	5,50	16,95	0,00	3383,35	21145,16	50,00
22-Apr-10 9:52:04	12,50	16,90	6417,07	724,30	1748,93	50,00
22-Apr-10 9:52:35	12,50	16,89	0,00	258,50	196,77	50,00
22-Apr-10 9:53:05	11,00	16,89	6144,00	249,93	198,60	50,00
22-Apr-10 9:53:35	11,00	16,88	0,00	205,93	178,90	52,00
22-Apr-10 9:54:04	13,00	16,88	8328,53	250,33	193,23	52,00
22-Apr-10 9:54:35	13,00	16,88	0,00	201,37	183,57	52,00
22-Apr-10 9:55:05	22,00	16,88	6214,62	205,48	184,17	55,00
22-Apr-10 9:55:35	22,00	16,88	0,00	186,35	179,65	55,00
22-Apr-10 9:56:05	23,50	16,88	6417,07	194,43	178,80	55,00
22-Apr-10 9:56:34	23,50	16,88	0,00	195,13	182,27	55,00
22-Apr-10 9:57:05	23,50	17,03	0,00	4042,17	84671,03	55,00
22-Apr-10 9:57:35	23,50	17,02	13629,79	3574,34	53363,21	55,00
22-Apr-10 9:58:05	24,00	17,01	0,00	2688,27	2712,37	55,00
22-Apr-10 9:58:35	24,00	17,00	6963,20	3078,42	18668,36	55,00
22-Apr-10 9:59:05	23,50	17,04	0,00	4176,23	82331,57	57,00
22-Apr-10 9:59:35	23,50	17,08	12188,90	3357,58	45424,26	57,00
22-Apr-10 10:00:04	39,00	17,08	0,00	2736,89	2757,29	60,00
22-Apr-10 10:00:34	39,00	17,07	8465,07	2681,26	2659,39	60,00
22-Apr-10 10:01:05	43,00	17,11	0,00	2731,77	2737,07	60,00
22-Apr-10 10:01:36	43,00	17,09	6690,13	2731,27	2747,97	60,00
22-Apr-10 10:02:04	43,50	17,11	0,00	3087,83	19494,13	57,00
22-Apr-10 10:02:34	43,50	17,17	7062,07	3748,53	45792,93	60,00
22-Apr-10 10:03:05	41,00	17,17	0,00	2725,37	2726,93	65,00
22-Apr-10 10:03:35	41,00	17,17	13939,61	2836,80	2865,97	60,00
22-Apr-10 10:04:05	44,00	17,17	0,00	2776,03	2743,50	60,00
22-Apr-10 10:04:35	44,00	17,15	6144,00	2806,97	2753,87	62,00
22-Apr-10 10:05:04	43,50	17,17	0,00	3277,79	16552,83	57,00
22-Apr-10 10:05:34	43,50	16,82	6144,00	444,83	316,20	65,00
22-Apr-10 10:06:06	46,00	16,82	0,00	197,63	185,03	65,00
22-Apr-10 10:06:36	46,00	16,82	6638,34	302,79	340,03	57,00
22-Apr-10 10:07:05	61,00	16,89	0,00	1831,87	6165,32	71,00



22-Apr-10 10:07:35	61,00	16,96	14203,87	3969,00	15421,77	71,00
22-Apr-10 10:08:05	60,00	16,96	0,00	2962,87	11266,33	71,00
22-Apr-10 10:08:34	60,00	16,95	13243,73	3373,00	13401,03	68,00
22-Apr-10 10:09:05	61,00	16,95	0,00	2841,03	11440,10	62,00
22-Apr-10 10:09:35	61,00	16,95	6007,47	3276,84	12903,52	71,00
22-Apr-10 10:10:05	64,00	16,99	0,00	2331,97	11928,77	71,00
22-Apr-10 10:10:35	64,00	16,99	15189,33	4135,60	83196,90	65,00
22-Apr-10 10:11:05	85,00	16,90	6417,07	724,30	1748,93	68,00
22-Apr-10 10:11:35	85,00	16,89	0,00	258,50	196,77	68,00
22-Apr-10 10:12:05	85,00	16,89	6144,00	249,93	198,60	65,00
22-Apr-10 10:12:35	85,00	16,88	0,00	205,93	178,90	68,00
22-Apr-10 10:13:05	86,50	16,88	8328,53	250,33	193,23	71,00
22-Apr-10 10:13:34	86,50	16,88	0,00	201,37	183,57	68,00
22-Apr-10 10:14:05	85,00	16,88	6214,62	205,48	184,17	75,00
22-Apr-10 10:14:35	85,00	16,88	0,00	186,35	179,65	75,00
22-Apr-10 10:15:05	84,50	16,88	6417,07	194,43	178,80	71,00
22-Apr-10 10:15:35	84,50	16,88	0,00	195,13	182,27	71,00
22-Apr-10 10:16:08	94,00	17,03	0,00	4042,17	84671,03	71,00
22-Apr-10 10:16:38	94,00	17,02	13629,79	3574,34	53363,21	71,00
22-Apr-10 10:17:08	100,00	17,01	0,00	2688,27	2712,37	71,00
22-Apr-10 10:17:36	100,00	17,00	6963,20	3078,42	18668,36	71,00
22-Apr-10 10:18:06	100,00	17,04	0,00	4176,23	82331,57	71,00
22-Apr-10 10:18:38	100,00	17,08	12188,90	3357,58	45424,26	71,00
22-Apr-10 10:19:07	100,00	17,08	0,00	2736,89	2757,29	75,00
22-Apr-10 10:19:35	100,00	17,07	8465,07	2681,26	2659,39	75,00
22-Apr-10 10:20:06	100,00	17,11	0,00	2731,77	2737,07	75,00
22-Apr-10 10:20:36	100,00	17,09	6690,13	2731,27	2747,97	48,00
22-Apr-10 10:21:05	71,00	17,11	0,00	3087,83	19494,13	50,00
22-Apr-10 10:21:34	71,00	16,82	6144,00	444,83	316,20	50,00
22-Apr-10 10:22:05	0,00	16,82	0,00	197,63	185,03	48,00
22-Apr-10 10:22:35	0,00	16,82	6638,34	302,79	340,03	48,00
22-Apr-10 10:23:04	0,00	16,89	0,00	1831,87	6165,32	50,00
22-Apr-10 10:23:35	0,00	16,96	14203,87	3969,00	15421,77	48,00
22-Apr-10 10:24:05	0,00	16,96	0,00	2962,87	11266,33	48,00
22-Apr-10 10:24:35	0,00	16,95	13243,73	3373,00	13401,03	48,00
22-Apr-10 10:25:05	0,00	16,95	0,00	2841,03	11440,10	48,00
22-Apr-10 10:25:35	0,00	16,95	6007,47	3276,84	12903,52	48,00
22-Apr-10 10:26:05	0,00	16,99	0,00	2331,97	11928,77	48,00
22-Apr-10 10:26:35	0,00	16,99	15189,33	4135,60	83196,90	48,00
22-Apr-10 10:27:04	0,00	17,03	0,00	4042,17	84671,03	50,00
22-Apr-10 10:27:35	0,00	17,02	13629,79	3574,34	53363,21	48,00
22-Apr-10 10:28:05	0,00	17,01	0,00	2688,27	2712,37	48,00
22-Apr-10 10:28:35	0,00	17,00	6963,20	3078,42	18668,36	48,00
22-Apr-10 10:29:05	0,00	17,04	0,00	4176,23	82331,57	48,00
22-Apr-10 10:29:34	0,00	17,08	12188,90	3357,58	45424,26	50,00
22-Apr-10 10:30:04	0,00	17,08	0,00	2736,89	2757,29	48,00
22-Apr-10 10:30:35	0,00	17,07	8465,07	2681,26	2659,39	48,00
22-Apr-10 10:31:05	0,00	17,11	0,00	2731,77	2737,07	48,00
Media	30,55	17,00	4586,06	2388,59	17279,47	55,96
Desvio	35,07	0,11	5236,14	1339,12	25678,25	9,32
Mínimo	0,00	16,82	0,00	186,35	178,80	46,00
Máximo	100,00	17,26	15189,33	4176,23	84671,03	75,00
Variação	100,00	0,44	15189,33	3989,88	84492,23	29,00

## Conclusão

O consumo do servidor foi progressivo, acompanhando a crescente carga de CPU. O gráfico abaixo representa o aumento do consumo frente ao aumento da utilização do CPU, e torna clara a influência da carga de CPU no consumo do servidor.



Intervalo	Média CPU %	Média Consumo Watts
min 0 - min 10	0,00	47,55
min 11 - min 15	6,00	50,17
min 16 - min 18	12,17	51,00
min 19 - min 24	23,30	55,40
min 25 - min 31	42,86	60,57
min 31 - min 34	61,50	68,75
min 35 - min 39	85,20	70,00
min 40 - min 44	98,67	72,33



## 4.4. Testes de carga com leitura intensiva de disco rígido

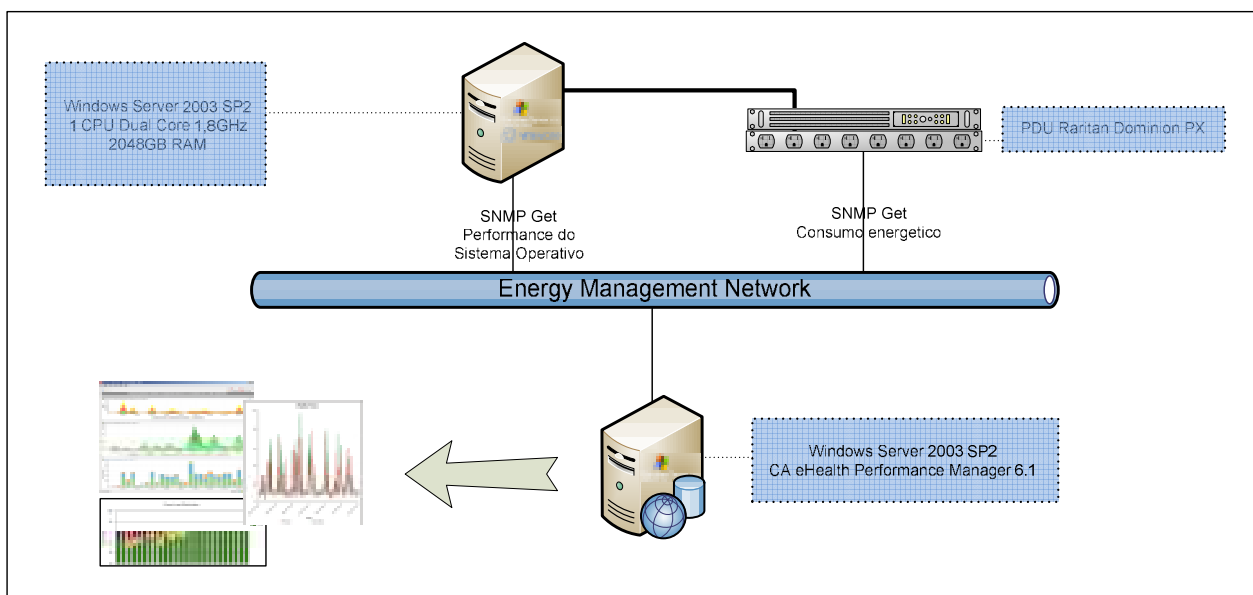
### Objectivo

Avaliar como varia o consumo do servidor com leitura intensiva em disco.

### Servidor Monitorizado

Servidor 1

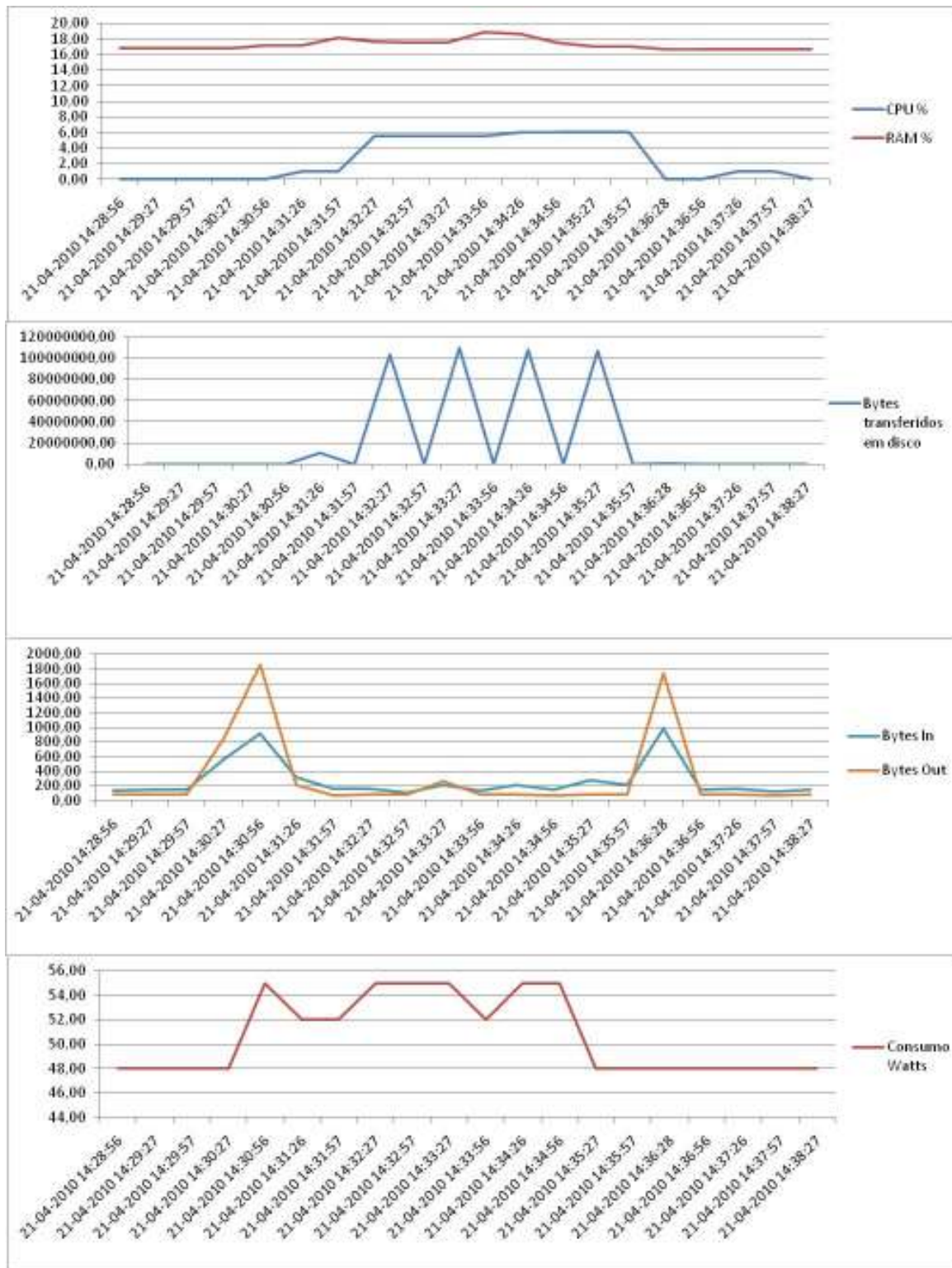
### Esquema de teste



### Método

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Cópia de um ficheiro de grande dimensão do disco local a um suporte de armazenamento externo com alimentação independente, por USB, e monitorização durante 5 minutos.
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parada a transferência do ficheiro ao suporte de armazenamento externo.

## Resultados



	CPU	MEMÓRIA	DISCO	REDE		POTÊNCIA
	utilização %	utilização %	bytes transferidos	bytes recebidos	bytes enviados	Watts
21-04-2010 14:28:56	0,00	16,78	0,00	132,53	77,70	48,00
21-04-2010 14:29:27	0,00	16,78	5945,81	144,71	78,32	48,00
21-04-2010 14:29:57	0,00	16,78	0,00	144,83	77,70	48,00
21-04-2010 14:30:27	0,00	16,78	6007,47	566,90	848,93	48,00
21-04-2010 14:30:56	0,00	17,22	0,00	916,41	1851,45	55,00
21-04-2010 14:31:26	1,00	17,18	10849246,00	316,03	214,40	52,00
21-04-2010 14:31:57	1,00	18,16	0,00	162,52	75,19	52,00
21-04-2010 14:32:27	5,50	17,61	103480248,00	159,53	77,70	55,00
21-04-2010 14:32:57	5,50	17,52	0,00	114,33	77,70	55,00
21-04-2010 14:33:27	5,50	17,47	110104096,00	213,07	264,87	55,00
21-04-2010 14:33:56	5,50	18,84	0,00	140,97	81,83	52,00
21-04-2010 14:34:26	6,00	18,59	108016160,00	216,30	77,70	55,00
21-04-2010 14:34:56	6,00	17,58	0,00	151,81	75,19	55,00
21-04-2010 14:35:27	6,00	17,09	106655416,00	276,13	79,53	48,00
21-04-2010 14:35:57	6,00	17,08	0,00	210,67	77,70	48,00
21-04-2010 14:36:28	0,00	16,71	374123,34	982,19	1736,94	48,00
21-04-2010 14:36:56	0,00	16,71	0,00	145,21	83,25	48,00
21-04-2010 14:37:26	1,00	16,71	67720,53	167,33	79,53	48,00
21-04-2010 14:37:57	1,00	16,71	0,00	124,29	75,19	48,00
21-04-2010 14:38:27	0,00	16,71	6144,00	148,03	77,70	48,00
<b>Media</b>	2,50	17,25	21978255,36	271,69	304,43	50,70
<b>Desvio</b>	2,75	0,65	43728178,86	252,99	538,99	3,21
<b>Mínimo</b>	0,00	16,71	0,00	114,33	75,19	48,00
<b>Máximo</b>	6,00	18,84	110104096,00	982,19	1851,45	55,00
<b>Variação</b>	6,00	2,14	110104096,00	867,86	1776,25	7,00

## Conclusão

Houve um acréscimo de 7 Watts no consumo instantâneo do servidor durante o processo de transferência do ficheiro. Esse acréscimo de consumo também terá sido influenciado pelo acréscimo de 6% na carga do CPU. Surpreendentemente, a leitura intensiva em disco representou um acréscimo de somente 14% no consumo energético do servidor.

## 4.5. Testes de carga com escrita intensiva em disco rígido

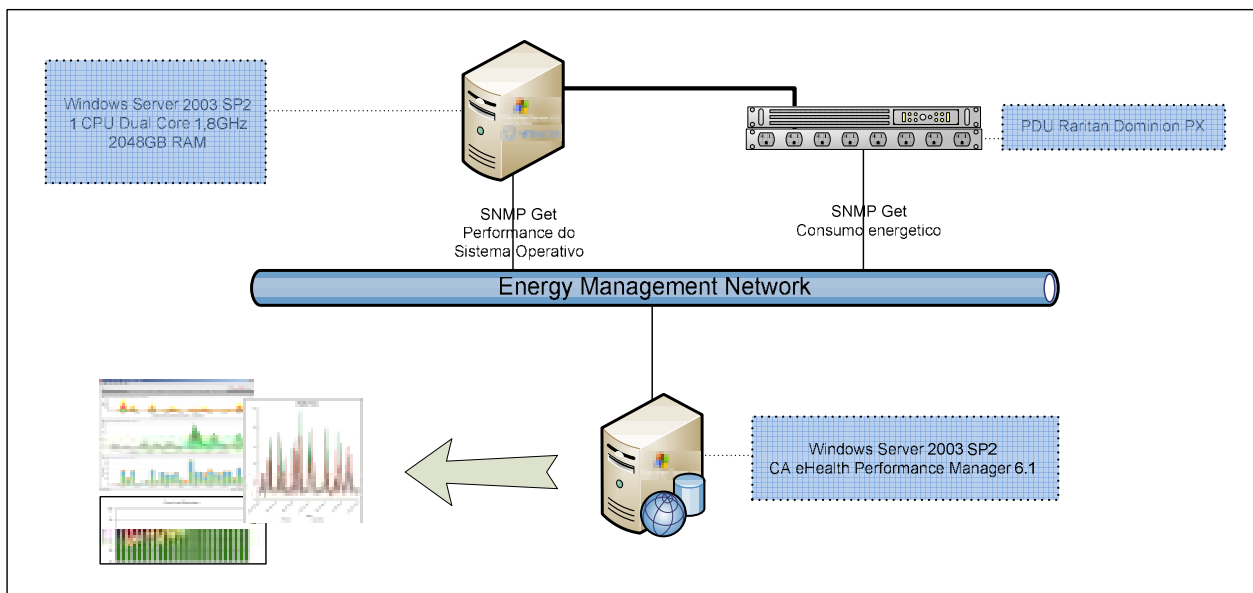
### Objectivo

Avaliar como varia o consumo do servidor com escrita intensiva em disco.

### Servidor Monitorizado

Servidor 1

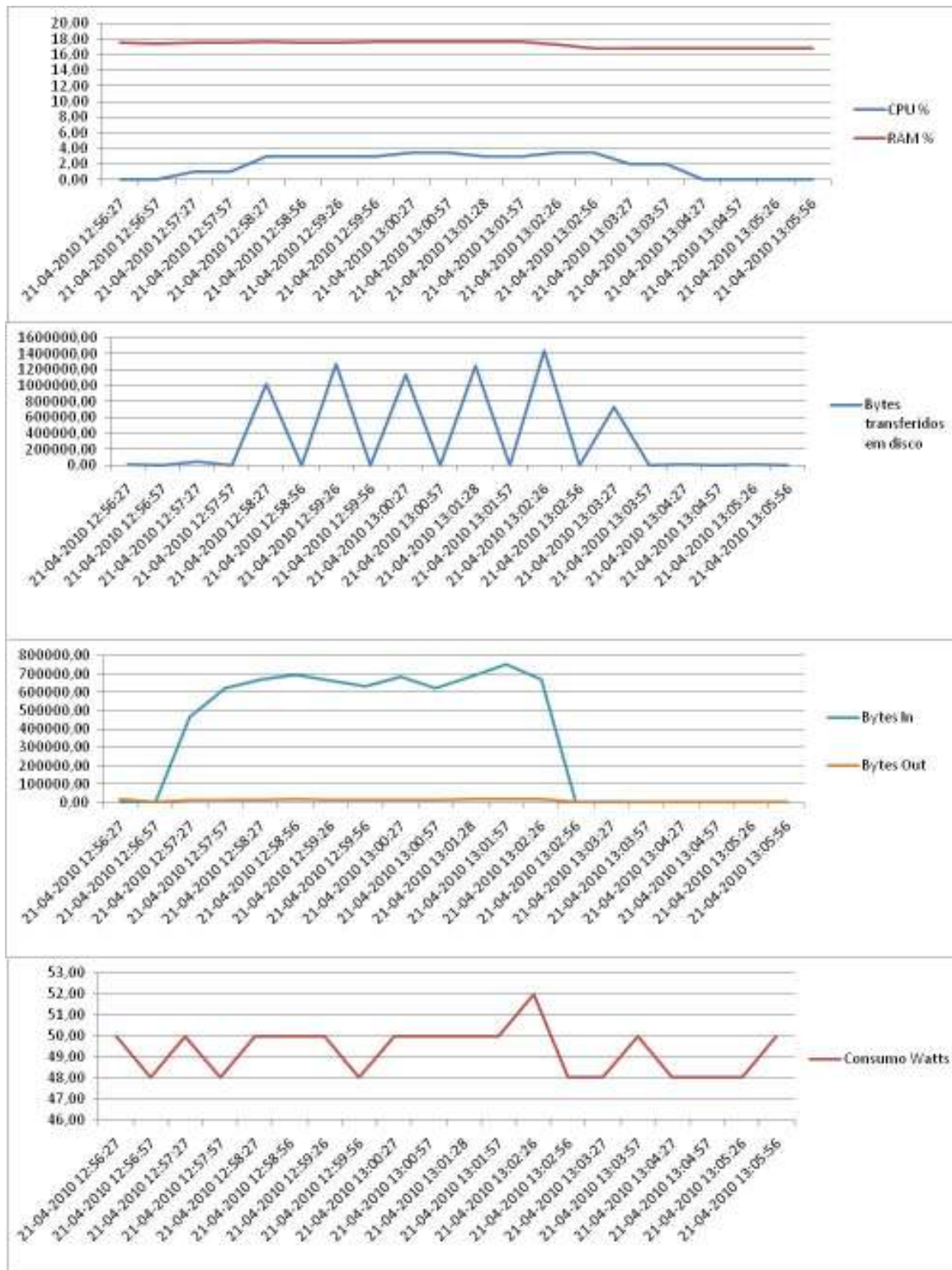
### Esquema de teste



### Método

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Cópia de um ficheiro de grande dimensão de um suporte de armazenamento externo com alimentação independente, por rede, para o disco local, e monitorização durante 5 minutos.
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parada a transferência do ficheiro ao disco local.

## Resultados



	CPU	MEMÓRIA	DISCO	REDE		POTÊNCIA
	utilização %	utilização %	bytes transferidos	bytes recebidos	bytes enviados	Watts
21-04-2010 12:56:27	0,00	17,49	15291,73	10391,29	15989,90	50,00
21-04-2010 12:56:57	0,00	17,48	0,00	3579,77	1486,33	48,00
21-04-2010 12:57:27	1,00	17,55	42530,13	466461,72	12412,33	50,00
21-04-2010 12:57:57	1,00	17,51	0,00	625276,00	14455,40	48,00
21-04-2010 12:58:27	3,00	17,63	1014288,50	667834,56	15291,33	50,00
21-04-2010 12:58:56	3,00	17,53	0,00	696251,19	15954,76	50,00
21-04-2010 12:59:26	3,00	17,55	1277166,88	665236,00	15061,67	50,00
21-04-2010 12:59:56	3,00	17,64	0,00	634044,00	14715,47	48,00
21-04-2010 13:00:27	3,50	17,61	1141727,00	684560,75	15672,26	50,00
21-04-2010 13:00:57	3,50	17,64	0,00	621507,63	15546,60	50,00
21-04-2010 13:01:28	3,00	17,61	1252715,38	683319,38	16266,45	50,00
21-04-2010 13:01:57	3,00	17,65	0,00	755449,75	18158,00	50,00
21-04-2010 13:02:26	3,50	17,36	1434800,50	670441,75	16270,97	52,00
21-04-2010 13:02:56	3,50	16,77	0,00	342,27	115,50	48,00
21-04-2010 13:03:27	2,00	16,77	731545,63	302,16	76,97	48,00
21-04-2010 13:03:57	2,00	16,77	0,00	450,53	77,70	50,00
21-04-2010 13:04:27	0,00	16,77	6417,07	236,30	123,37	48,00
21-04-2010 13:04:57	0,00	16,77	0,00	151,93	77,70	48,00
21-04-2010 13:05:26	0,00	16,76	7909,52	145,31	82,28	48,00
21-04-2010 13:05:56	0,00	16,76	0,00	160,70	77,70	50,00
<b>Media</b>	1,90	17,28	346219,62	359307,15	9395,63	49,30
<b>Desvio</b>	1,47	0,39	549227,69	335918,37	7724,06	1,17
<b>Mínimo</b>	0,00	16,76	0,00	145,31	76,97	48,00
<b>Máximo</b>	3,50	17,65	1434800,50	755449,75	18158,00	52,00
<b>Variação</b>	3,50	0,89	1434800,50	755304,44	18081,03	4,00

## Conclusão

Houve um acréscimo de 4 Watts no consumo instantâneo do servidor durante o processo de transferência do ficheiro. Esse acréscimo de consumo também terá sido influenciado pelo acréscimo de 3,5% na carga do CPU. Surpreendentemente, a escrita intensiva em disco representou um acréscimo de somente 9% no consumo energético do servidor, inferior ainda à leitura intensiva em disco.

## 4.6. Teste de carga em servidor aplicacional, consoante crescente carga de pedidos Web

### Objectivo

Avaliar o impacto causado no consumo de uma infra-estrutura de suporte a uma aplicação Web, quando afectada por diferentes cargas de pedidos.

### Servidor Monitorizado

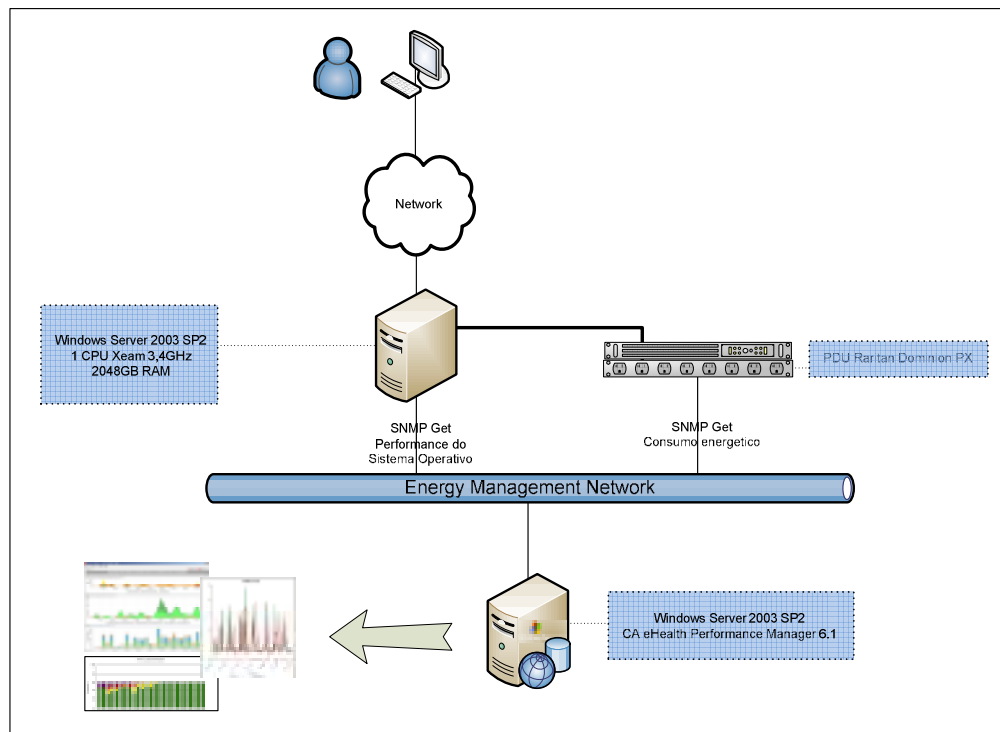
Servidor 2

#### 4.6.1. Carga Web num servidor aplicacional alojado num servidor físico com Windows Server 2003

### Objectivo

Avaliar o impacto causado no consumo de uma infra-estrutura de suporte a uma aplicação Web, quando afectada por diferentes cargas de pedidos.

### Esquema de teste



## **Método**

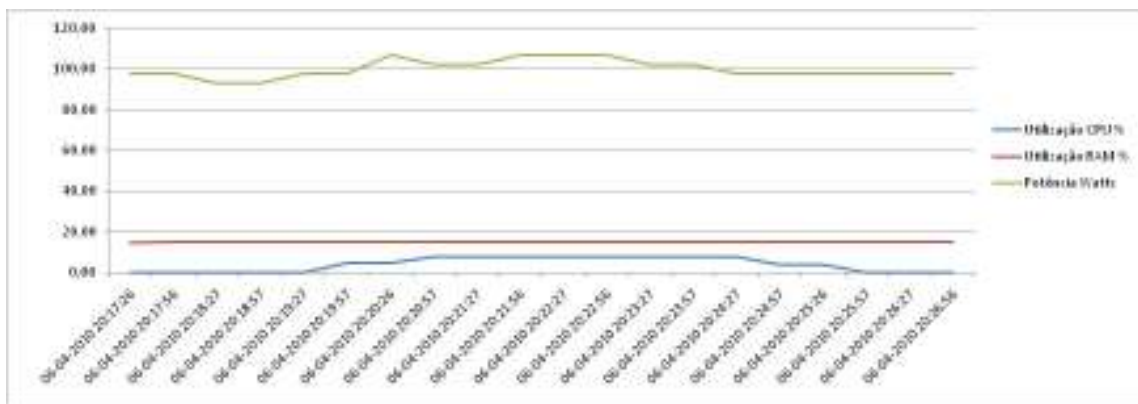
- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Static Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 4 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Servlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 5 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 6 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página DBServlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 7 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.



## Resultados – Pedidos intensivo à página Static Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.42:8080/Static
Comando	siege -c 150 -t 5m http://10.76.81.42:8080/Static
# de browsers simulados	150
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	06/04/2010 - 20:19/20:24

Resultado do teste	
# de transações	87240 hits
Disponibilidade	100.00 %
Tempo de teste	299.74 secs
Dados transferidos	17.31 MB
Tempo de resposta	0.01 secs
Ritmo de transferência	291.05 trans/sec
Ritmo de transferência	0.06 MB/sec
Pedidos concorrentes	2.98
Transações concluídas	87318,00
Transações falhadas	0,00
Transacção mais longa	3.01
Transacção mais curta	0.00

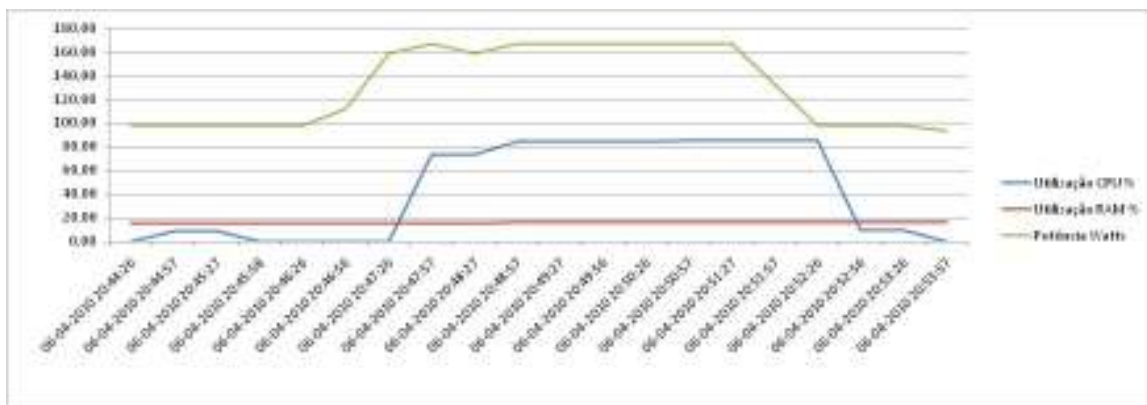


	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
06-04-2010 20:17:26	0,00	14,81	98,00
06-04-2010 20:17:56	0,00	14,82	98,00
06-04-2010 20:18:27	0,00	14,82	93,00
06-04-2010 20:18:57	0,00	14,82	93,00
06-04-2010 20:19:27	0,00	15,00	98,00
06-04-2010 20:19:57	4,50	15,01	98,00
06-04-2010 20:20:26	4,50	15,02	107,00
06-04-2010 20:20:57	7,50	15,11	102,00
06-04-2010 20:21:27	7,50	15,13	102,00
06-04-2010 20:21:56	7,50	15,11	107,00
06-04-2010 20:22:27	7,50	15,15	107,00
06-04-2010 20:22:56	7,50	15,14	107,00
06-04-2010 20:23:27	7,50	15,14	102,00
06-04-2010 20:23:57	7,50	15,14	102,00
06-04-2010 20:24:27	7,50	15,14	98,00
06-04-2010 20:24:57	4,00	15,14	98,00
06-04-2010 20:25:26	4,00	15,14	98,00
06-04-2010 20:25:57	0,00	15,14	98,00
06-04-2010 20:26:27	0,00	15,14	98,00
06-04-2010 20:26:56	0,00	15,14	98,00
Media	3,85	15,05	100,10
Desvio	3,45	0,13	4,29
Mínimo	0,00	14,81	93,00
Máximo	7,50	15,15	107,00
Variação	7,50	0,34	14,00

## Resultados – Pedidos intensivo à página Servlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.42:8080/Servlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.42:8080/Servlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	06/04/2010 - 20:46/20:51

Resultado do teste	
# de transações	18356hits
Disponibilidade	100.00%
Tempo de teste	299.45secs
Dados transferidos	2617.56MB
Tempo de resposta	1.12secs
Ritmo de transferência	61.30trans/sec
Ritmo de transferência	8.74MB/sec
Pedidos concorrentes	68.90
Transferências bem sucedidas	18396,00
Transações falhadas	0,00
Transação mais longa	8.10
Transação mais curta	0.00

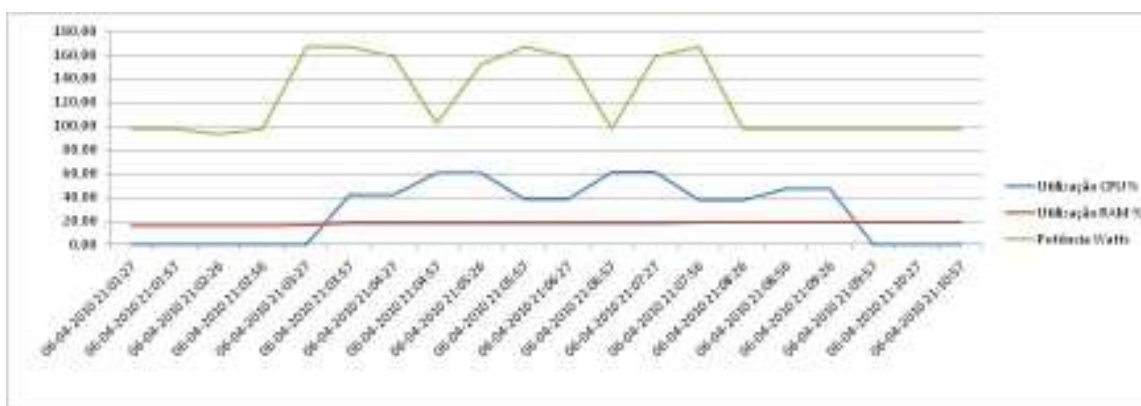


	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
06-04-2010 20:44:26	0,00	15,25	98,00
06-04-2010 20:44:57	8,50	15,25	98,00
06-04-2010 20:45:27	8,50	15,25	98,00
06-04-2010 20:45:58	0,00	15,24	98,00
06-04-2010 20:46:26	0,00	15,24	98,00
06-04-2010 20:46:56	0,00	15,31	112,00
06-04-2010 20:47:26	0,00	15,44	159,00
06-04-2010 20:47:57	73,00	15,52	167,00
06-04-2010 20:48:27	73,00	15,52	159,00
06-04-2010 20:48:57	84,50	15,65	167,00
06-04-2010 20:49:27	84,50	15,69	167,00
06-04-2010 20:49:56	84,50	15,77	167,00
06-04-2010 20:50:26	84,50	15,77	167,00
06-04-2010 20:50:57	85,00	15,77	167,00
06-04-2010 20:51:27	85,00	15,79	167,00
06-04-2010 20:51:57	85,00	15,85	133,00
06-04-2010 20:52:26	85,00	15,85	98,00
06-04-2010 20:52:56	9,00	15,85	98,00
06-04-2010 20:53:26	9,00	15,85	98,00
06-04-2010 20:53:57	0,00	15,84	93,00
Media	42,95	15,59	130,45
Desvio	40,74	0,25	33,37
Mínimo	0,00	15,24	93,00
Máximo	85,00	15,85	167,00
Variação	85,00	0,61	74,00

## Resultados – Pedidos intensivo à página DBServlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.42:8080/DBServlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.42:8080/DBServlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	06/04/2010 - 21:02/21:07

Resultado do teste	
# de transações	22032hits
Disponibilidade	99.10%
Tempo de teste	299.51secs
Dados transferidos	262.68MB
Tempo de resposta	0.57secs
Ritmo de transferência	73.56trans/sec
Ritmo de transferência	0.88MB/sec
Pedidos concorrentes	41.57
Transações concluídas	22308,00
Transações falhadas	200,00
Transação mais longa	24.81
Transação mais curta	0.00



	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
06-04-2010 21:01:27	0,00	15,82	98,00
06-04-2010 21:01:57	0,00	15,82	98,00
06-04-2010 21:02:26	0,00	15,82	93,00
06-04-2010 21:02:56	0,00	15,82	98,00
06-04-2010 21:03:27	0,00	16,55	167,00
06-04-2010 21:03:57	42,00	17,81	167,00
06-04-2010 21:04:27	42,00	18,06	159,00
06-04-2010 21:04:57	60,50	18,20	102,00
06-04-2010 21:05:26	60,50	18,25	152,00
06-04-2010 21:05:57	38,00	18,33	167,00
06-04-2010 21:06:27	38,00	18,44	159,00
06-04-2010 21:06:57	61,50	18,45	98,00
06-04-2010 21:07:27	61,50	18,53	159,00
06-04-2010 21:07:56	37,50	18,60	167,00
06-04-2010 21:08:26	37,50	18,66	98,00
06-04-2010 21:08:56	47,00	18,58	98,00
06-04-2010 21:09:26	47,00	18,58	98,00
06-04-2010 21:09:57	0,00	18,57	98,00
06-04-2010 21:10:27	0,00	18,57	98,00
06-04-2010 21:10:57	0,00	18,57	98,00
Media	28,65	17,80	123,60
Desvio	25,25	1,12	32,49
Mínimo	0,00	15,82	93,00
Máximo	61,50	18,66	167,00
Variação	61,50	2,84	74,00

## **Conclusão**

Como seria de esperar, o consumo resultante de pedidos intensivos à página Static Web Page foi significativamente inferior ao consumo causado pela carga nas outras duas páginas.

A variação do consumo causado por cada um dos testes de carga foi o seguinte:

Static Web Page: 14 Watts

Servlet Web Page: 74 Watts

DBServlet Web Page: 74 Watts

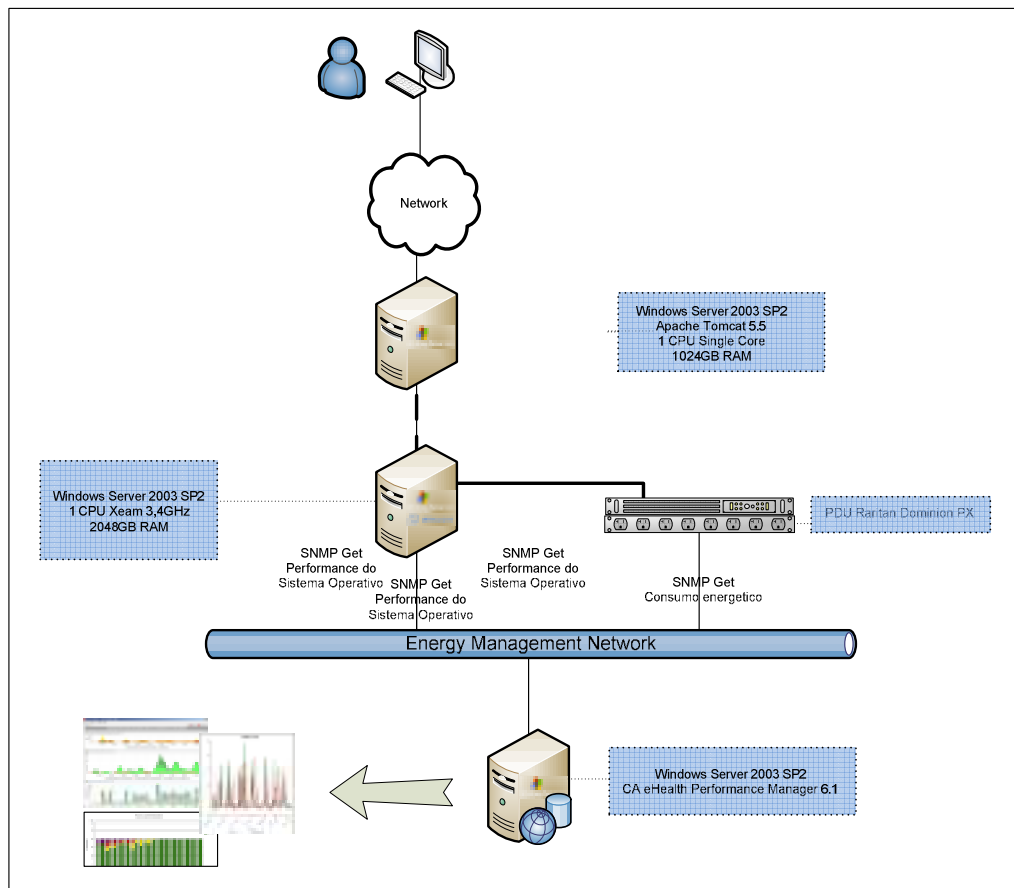
É de referir que o consumo médio da página Servlet Web Page foi superior à DBServlet Web Page, provavelmente fruto do número de páginas falhadas neste último, que causaram um decréscimo na carga de CPU, com 130,45 Watts e 123,60 Watts respectivamente.

#### 4.6.2. Carga Web num servidor aplicativo alojado num servidor virtual Windows utilizando tecnologia VMWare

##### Objectivo

Avaliar a diferença no consumo do servidor físico no caso em que o servidor aplicativo (Apache Tomcat) não está num servidor físico, mas sim num servidor virtual Windows alojado no mesmo servidor físico.

##### Esquema de teste



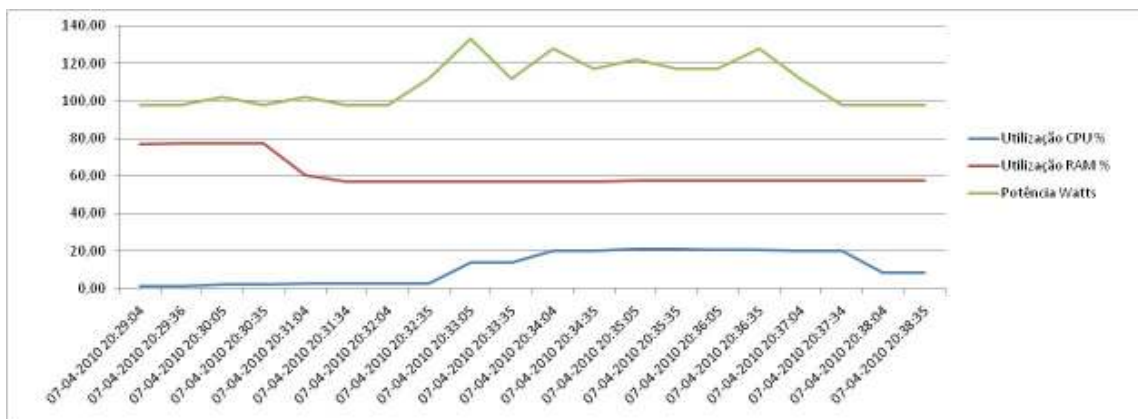
## **Método**

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Static Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 4 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Servlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 5 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 6 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página DBServlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 7 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.

## Resultados – Pedidos intensivo à página Static Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.47:8080/Static
Comando	siege -c 150 -t 5m http://10.76.81.47:8080/Static
# de browsers simulados	150
# de pedidos por browser	ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	07/04/2010 - 20:32/20:37

Resultado do teste	
# de transações	89706 hits
Disponibilidade	100.00 %
Tempo de teste	299.99 secs
Dados transferidos	17.79 MB
Tempo de resposta	0.00 secs
Ritmo de transferência	299.03 trans/sec
Ritmo de transferência	0.06 MB/sec
Pedidos concorrentes	0.98
Transações concluídas	89794,00
Transações falhadas	0,00
Transação mais longa	0.58
Transação mais curta	0.00

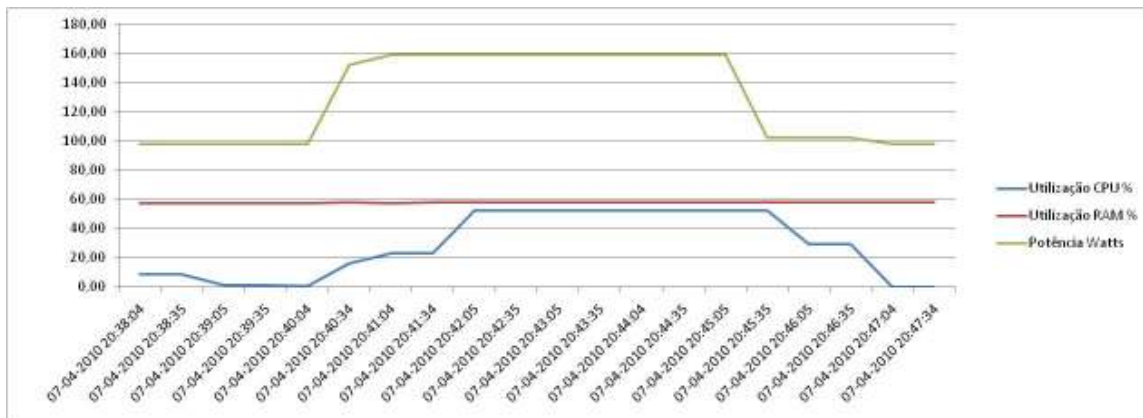


	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
07-04-2010 20:29:04	1,00	76,99	98,00
07-04-2010 20:29:36	1,00	77,27	98,00
07-04-2010 20:30:05	2,00	77,48	102,00
07-04-2010 20:30:35	2,00	77,14	98,00
07-04-2010 20:31:04	2,50	60,41	102,00
07-04-2010 20:31:34	2,50	56,77	98,00
07-04-2010 20:32:04	2,50	56,87	98,00
07-04-2010 20:32:35	2,50	56,90	112,00
07-04-2010 20:33:05	14,00	56,90	133,00
07-04-2010 20:33:35	14,00	56,97	112,00
07-04-2010 20:34:04	20,00	57,21	128,00
07-04-2010 20:34:35	20,00	57,21	117,00
07-04-2010 20:35:05	21,00	57,24	122,00
07-04-2010 20:35:35	21,00	57,25	117,00
07-04-2010 20:36:05	20,50	57,29	117,00
07-04-2010 20:36:35	20,50	57,33	128,00
07-04-2010 20:37:04	20,00	57,34	112,00
07-04-2010 20:37:34	20,00	57,36	98,00
07-04-2010 20:38:04	8,50	57,37	98,00
07-04-2010 20:38:35	8,50	57,33	98,00
Media	11,20	61,33	109,30
Desvio	8,54	8,19	12,03
Mínimo	1,00	56,77	98,00
Máximo	21,00	77,48	133,00
Variação	20,00	20,71	35,00

## Resultados – Pedidos intensivo à página Servlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.47:8080/Servlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.47:8080/Servlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	07/04/2010 - 20:40/20:45

Resultado do teste	
# de transacções	12748 hits
Disponibilidade	100.00 %
Tempo de teste	299.19 secs
Dados transferidos	1817.86 MB
Tempo de resposta	1.84 secs
Ritmo de transferência	42.61 trans/sec
Ritmo de transferência	6.08 MB/sec
Pedidos concorrentes	78.31
Transacções concluídas	12803,00
Transacções falhadas	0,00
Transacção mais longa	4.68
Transacção mais curta	0.02



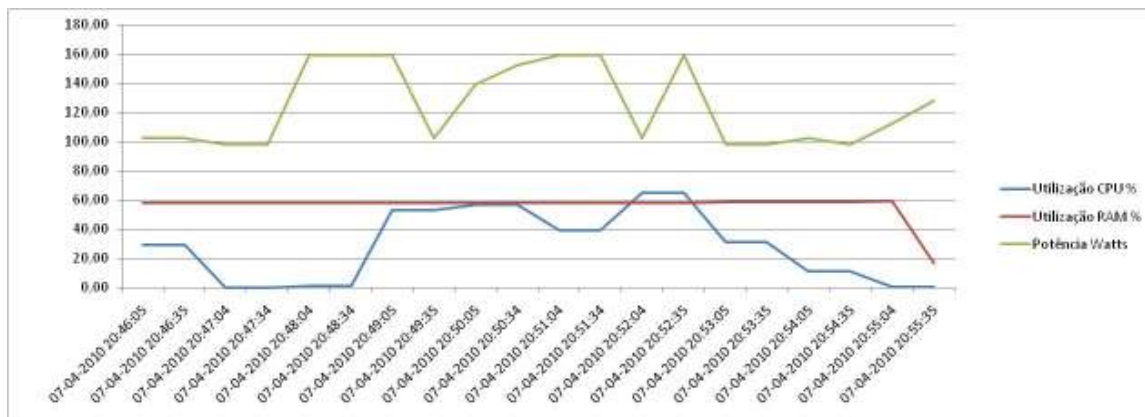
	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
07-04-2010 20:38:04	8,50	57,37	98,00
07-04-2010 20:38:35	8,50	57,33	98,00
07-04-2010 20:39:05	1,00	57,37	98,00
07-04-2010 20:39:35	1,00	57,38	98,00
07-04-2010 20:40:04	0,50	57,41	98,00
07-04-2010 20:40:34	16,00	57,50	152,00
07-04-2010 20:41:04	23,00	57,48	159,00
07-04-2010 20:41:34	23,00	57,54	159,00
07-04-2010 20:42:05	52,50	57,56	159,00
07-04-2010 20:42:35	52,50	57,63	159,00
07-04-2010 20:43:05	52,00	57,68	159,00
07-04-2010 20:43:35	52,00	57,72	159,00
07-04-2010 20:44:04	52,00	57,70	159,00
07-04-2010 20:44:35	52,00	57,74	159,00
07-04-2010 20:45:05	52,50	57,78	159,00
07-04-2010 20:45:35	52,50	57,82	102,00
07-04-2010 20:46:05	29,00	57,82	102,00
07-04-2010 20:46:35	29,00	57,82	102,00
07-04-2010 20:47:04	0,00	57,85	98,00
07-04-2010 20:47:34	0,00	57,85	98,00
Media	27,88	57,62	128,75
Desvio	22,29	0,18	30,39
Mínimo	0,00	57,33	98,00
Máximo	52,50	57,85	159,00
Variação	52,50	0,52	61,00



## Resultados – Pedidos intensivo à página DBServlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.47:8080/DBServlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.47:8080/DBServlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	07/04/2010 - 20:47/20:52

Resultado do teste	
# de transações	18254 hits
Disponibilidade	98.93 %
Tempo de teste	299.66 secs
Dados transferidos	217.63 MB
Tempo de resposta	0.80 secs
Ritmo de transferência	60.92 trans/sec
Ritmo de transferência	0.73 MB/sec
Pedidos concorrentes	48.62
Transações concluídas	18538,00
Transações falhadas	198,00
Transacção mais longa	17.65
Transacção mais curta	0.00



	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
07-04-2010 20:46:05	29,00	57,82	102,00
07-04-2010 20:46:35	29,00	57,82	102,00
07-04-2010 20:47:04	0,00	57,85	98,00
07-04-2010 20:47:34	0,00	57,85	98,00
07-04-2010 20:48:04	1,00	57,88	159,00
07-04-2010 20:48:34	1,00	58,02	159,00
07-04-2010 20:49:05	53,00	58,04	159,00
07-04-2010 20:49:35	53,00	58,06	102,00
07-04-2010 20:50:05	56,50	58,07	139,00
07-04-2010 20:50:34	56,50	58,04	152,00
07-04-2010 20:51:04	39,50	58,07	159,00
07-04-2010 20:51:34	39,50	58,18	159,00
07-04-2010 20:52:04	65,00	58,18	102,00
07-04-2010 20:52:35	65,00	58,27	159,00
07-04-2010 20:53:05	31,00	58,35	98,00
07-04-2010 20:53:35	31,00	58,36	98,00
07-04-2010 20:54:05	11,00	58,37	102,00
07-04-2010 20:54:35	11,00	58,37	98,00
07-04-2010 20:55:04	0,50	59,01	112,00
07-04-2010 20:55:35	0,50	16,89	128,00
Media	28,65	56,08	124,25
Desvio	24,07	9,23	27,45
Mínimo	0,00	16,89	98,00
Máximo	65,00	59,01	159,00
Varição	65,00	42,12	61,00

## **Conclusão**

O consumo resultante de pedidos intensivos à página Static Web Page foi significativamente inferior ao consumo causado pela carga nas outras duas páginas.

A variação do consumo causado por cada um dos testes de carga foi o seguinte:

Static Web Page: 35 Watts

Servlet Web Page: 61 Watts

DBServlet Web Page: 61 Watts

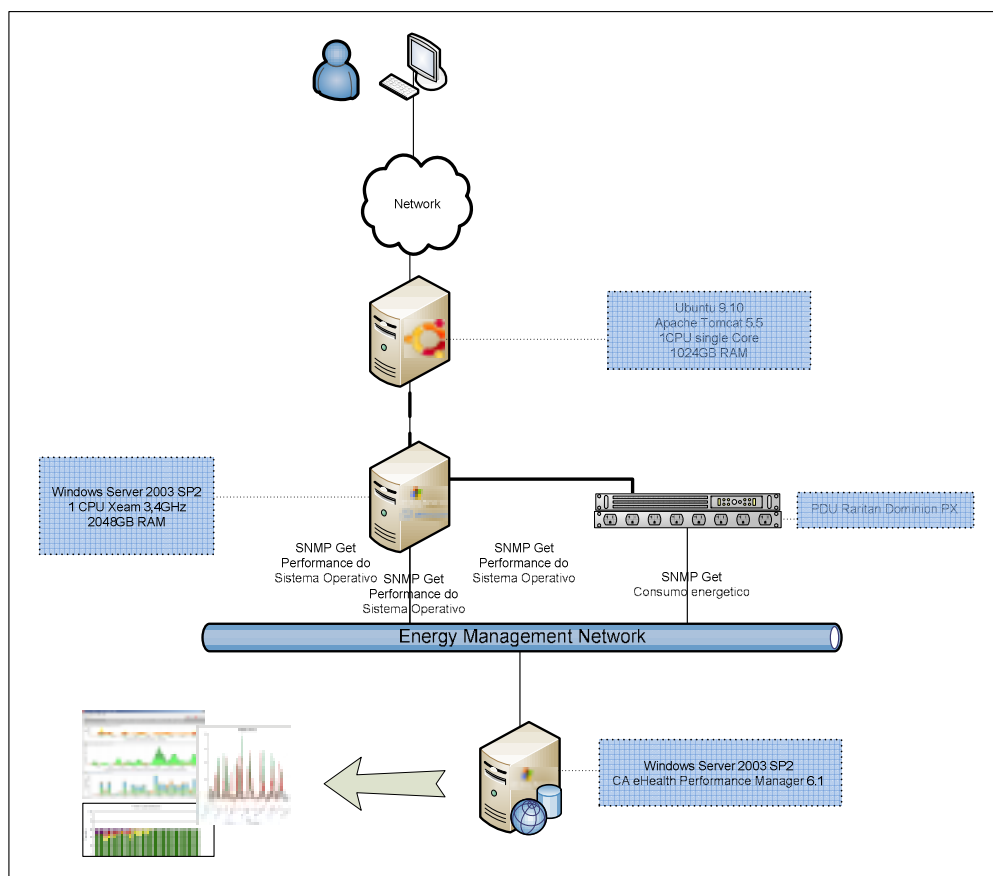
O consumo geral neste cenário foi superior do que no caso onde o servidor aplicativo estava alojado no servidor físico. No entanto, o mesmo não se verificou para o Servlet Web Page, onde o consumo médio foi inferior que no servidor físico.

#### 4.6.3. Carga Web num servidor aplicativo alojado num servidor virtual Linux Server 2003 utilizando tecnologia VMWare

##### Objectivo

Comparar a diferença de consumo no servidor físico, quando a máquina virtual onde está o servidor aplicativo (Apache Tomcat) tem como sistema operativo Linux, em vez de Windows Server 2003 como no teste anterior.

##### Esquema de teste



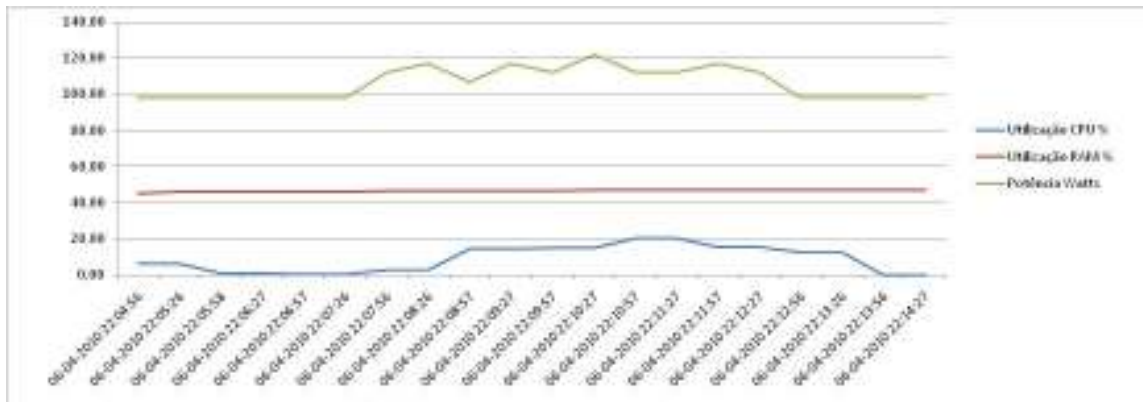
## **Método**

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Static Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 4 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Servlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 5 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.
- 6 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página DBServlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 7 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos.

## Resultados – Pedidos intensivo à página Static Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.46:8080/Static
Comando	siege -c 150 -t 5m http://10.76.81.46:8080/Static
# de browsers simulados	150
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	06/04/2010 - 22:07/22:12

Resultado do teste	
# de transações	89318 hits
Disponibilidade	100.00 %
Tempo de teste	300.09 secs
Dados transferidos	17.72 MB
Tempo de resposta	0.00 secs
Ritmo de transferência	297.64 trans/sec
Ritmo de transferência	0.06 MB/sec
Pedidos concorrentes	0.81
Transações concluídas	89396,00
Transações falhadas	0,00
Transação mais longa	0.86
Transação mais curta	0.00



	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
06-04-2010 22:04:56	6,00	45,32	98,00
06-04-2010 22:05:26	6,00	46,11	98,00
06-04-2010 22:05:58	1,00	46,10	98,00
06-04-2010 22:06:27	1,00	46,11	98,00
06-04-2010 22:06:57	0,50	46,12	98,00
06-04-2010 22:07:26	0,50	46,14	98,00
06-04-2010 22:07:56	3,00	46,50	112,00
06-04-2010 22:08:26	3,00	46,69	117,00
06-04-2010 22:08:57	14,50	46,70	107,00
06-04-2010 22:09:27	14,50	46,72	117,00
06-04-2010 22:09:57	15,00	46,72	112,00
06-04-2010 22:10:27	15,00	46,83	122,00
06-04-2010 22:10:57	20,50	46,85	112,00
06-04-2010 22:11:27	20,50	46,84	112,00
06-04-2010 22:11:57	15,50	46,84	117,00
06-04-2010 22:12:27	15,50	46,85	112,00
06-04-2010 22:12:56	12,50	46,86	98,00
06-04-2010 22:13:26	12,50	46,83	98,00
06-04-2010 22:13:56	0,00	46,84	98,00
06-04-2010 22:14:27	0,00	46,86	98,00
Media	8,85	46,54	106,00
Desvio	7,36	0,42	8,71
Mínimo	0,00	45,32	98,00
Máximo	20,50	46,86	122,00
Variação	20,50	1,54	24,00

## Resultados – Pedidos intensivo à página Servlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.46:8080/Servlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.46:8080/Servlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes
Início/Fim do teste	06/04/2010 - 22:32/22:37

Resultado do teste	
# de transações	57550 hits
Disponibilidade	100.00 %
Tempo de teste	299.85 secs
Dados transferidos	687.48 MB
Tempo de resposta	0.02 secs
Ritmo de transferência	191.93 trans/sec
Ritmo de transferência	2.29 MB/sec
Pedidos concorrentes	3.41
Transações concluídas	57600,00
Transações falhadas	0,00
Transação mais longa	0.32
Transação mais curta	0.00

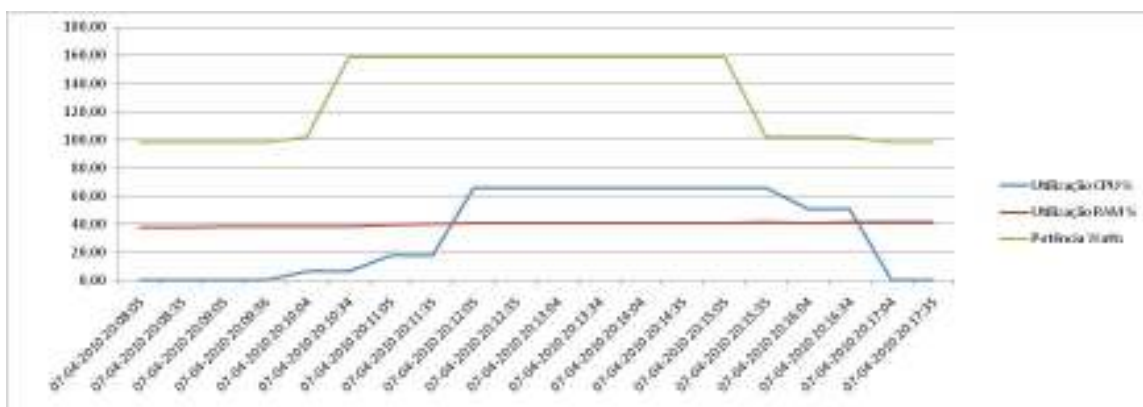


	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
06-04-2010 22:29:58	0,50	59,11	98,00
06-04-2010 22:30:28	0,50	59,13	98,00
06-04-2010 22:30:58	1,50	59,18	98,00
06-04-2010 22:31:28	1,50	59,35	98,00
06-04-2010 22:31:58	0,50	59,40	98,00
06-04-2010 22:32:28	0,50	59,42	98,00
06-04-2010 22:32:57	11,50	59,38	159,00
06-04-2010 22:33:28	11,50	59,35	152,00
06-04-2010 22:33:58	51,00	59,32	152,00
06-04-2010 22:34:28	51,00	59,35	159,00
06-04-2010 22:34:58	50,50	59,37	152,00
06-04-2010 22:35:28	50,50	59,40	152,00
06-04-2010 22:35:58	51,00	59,42	152,00
06-04-2010 22:36:28	51,00	59,42	159,00
06-04-2010 22:36:57	50,50	59,48	152,00
06-04-2010 22:37:27	50,50	59,52	152,00
06-04-2010 22:37:58	42,00	59,52	98,00
06-04-2010 22:38:28	42,00	59,55	98,00
06-04-2010 22:38:58	1,00	59,61	98,00
06-04-2010 22:39:28	1,00	59,64	98,00
Media	26,00	59,40	126,05
Desvio	23,94	0,14	28,87
Mínimo	0,50	59,11	98,00
Máximo	51,00	59,64	159,00
Variação	50,50	0,53	61,00

## Resultados – Pedidos intensivo à página DBServlet Web Page

Especificações do teste de carga	
Tipo de teste de carga	HTTP
URL	http://10.76.81.46:8080/DBServlet
Comando	siege -c 100 -t 5m http://10.76.81.46:8080/DBServlet
# de browsers simulados	100
# de pedidos por browser	Ilimitado
Duração do teste	5 minutos
Início/Fim do teste	07/04/2010 - 20:10/20:15

Resultado do teste	
# de transações	25876 hits
Disponibilidade	99.42 %
Tempo de teste	299.36 secs
Dados transferidos	308.56 MB
Tempo de resposta	0.47 secs
Ritmo de transferência	86.44 trans/sec
Ritmo de transferência	1.03 MB/sec
Pedidos concorrentes	40.64
Transações concluídas	26079,00
Transações falhadas	150,00
Transação mais longa	29.88
Transação mais curta	0.00



	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
07-04-2010 20:08:05	0,00	37,83	98,00
07-04-2010 20:08:35	0,00	37,80	98,00
07-04-2010 20:09:05	0,50	38,01	98,00
07-04-2010 20:09:36	0,50	38,02	98,00
07-04-2010 20:10:04	6,50	38,03	102,00
07-04-2010 20:10:34	6,50	38,56	159,00
07-04-2010 20:11:05	18,00	39,46	159,00
07-04-2010 20:11:35	18,00	40,33	159,00
07-04-2010 20:12:05	66,00	40,53	159,00
07-04-2010 20:12:35	66,00	40,63	159,00
07-04-2010 20:13:04	66,00	40,74	159,00
07-04-2010 20:13:34	66,00	40,84	159,00
07-04-2010 20:14:04	66,00	40,95	159,00
07-04-2010 20:14:35	66,00	41,03	159,00
07-04-2010 20:15:05	65,50	41,06	159,00
07-04-2010 20:15:35	65,50	41,11	102,00
07-04-2010 20:16:04	50,50	41,10	102,00
07-04-2010 20:16:34	50,50	41,12	102,00
07-04-2010 20:17:04	0,50	41,14	98,00
07-04-2010 20:17:35	0,50	41,16	98,00
Media	33,95	39,97	129,30
Desvio	30,35	1,36	30,50
Mínimo	0,00	37,80	98,00
Máximo	66,00	41,16	159,00
Variação	66,00	3,36	61,00

## **Conclusão**

O consumo resultante de pedidos intensivos à página Static Web Page foi significativamente inferior ao consumo causado pela carga nas outras duas páginas.

A variação do consumo causado por cada um dos testes de carga foi o seguinte:

Static Web Page: 24 Watts

Servlet Web Page: 61 Watts

DBServlet Web Page: 61 Watts

O consumo causado pelas páginas Static Web Page e Servlet Web Page foi residualmente inferior ao teste equivalente onde o sistema operativo da máquina virtual era Windows Server 2003. O mesmo não se verificou para o DBServlet Web Page, onde houve um acréscimo de consumo, embora também residual.

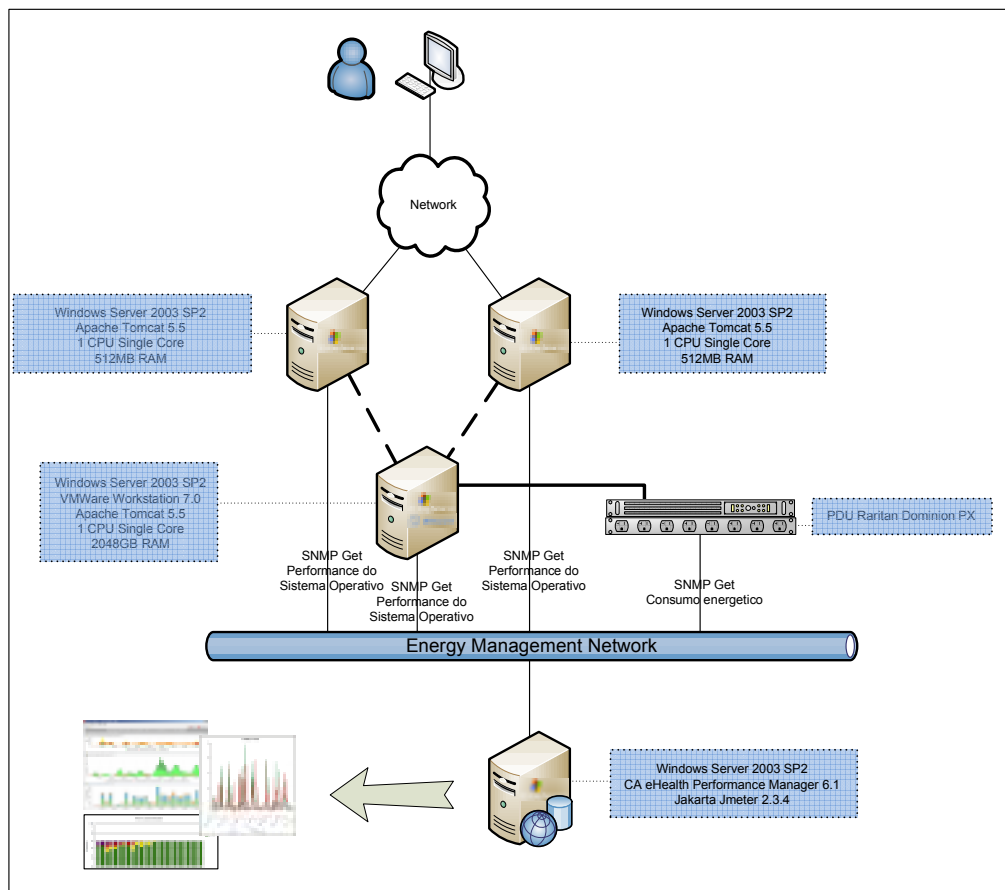


#### 4.6.4. Carga Web repartida por 2 servidores aplicativos alojados em 2 servidores virtuais em Windows Server 2003 em VMWare no mesmo servidor físico

##### Objectivo

Avaliar se existe algum impacto significativo no consumo do servidor físico, se a carga de pedidos Web for dividida por duas máquinas virtuais, ambas com Windows Server 2003, com metade da capacidade.

##### Esquema de teste



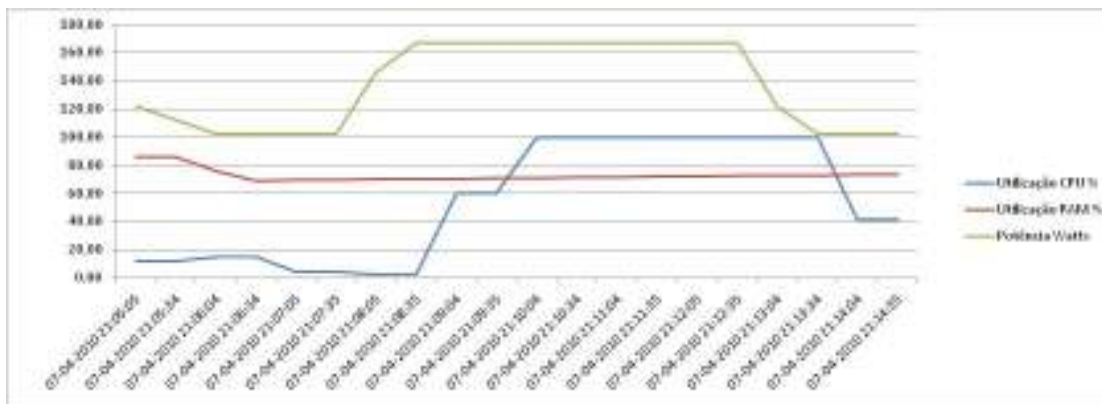
## **Método**

- 1 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso;
- 2 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Static Web Page e monitorização durante 5 minutos aos 2 servidores;
- 3 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos;
- 4 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página Servlet Web Page e monitorização durante 5 minutos aos 2 servidores;
- 5 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos aos 2 servidores;
- 6 – Aplicação de uma carga intensiva de pedidos Web à página DBServlet Web Page e monitorização durante 5 minutos;
- 7 – Monitorização durante 2,5 minutos do consumo energético do servidor em repouso, após parar os pedidos intensivos;

## Resultados – Pedidos intensivo à página Servlet Web Page

	Especificações do teste de carga Maquina virtual 1	Especificações do teste de carga Maquina virtual 2
Tipo de teste de carga	HTTP	HTTP
URL	http://10.76.81.42:8080/Servlet	http://10.76.81.42:8080/Servlet
Comando	siege -c 50 -t 5m http://10.76.81.47:8080/Servlet	siege -c 50 -t 5m http://10.76.81.48:8080/Servlet
# de browsers simulados	50,00	50,00
# de pedidos por browser	Ilimitado	Ilimitado
Duração do teste	5 minutes	5 minutes
Início/Fim do teste	07/04/2010 - 21:07/21:12	07/04/2010 - 21:07/21:12

	Resultado do teste - Maquina Virtual 1	Resultado do teste - Maquina Virtual 2
# de transações	6770 hits	5852 hits
Disponibilidade	99.93 %	99.90 %
Tempo de teste	299.59 secs	299.87 secs
Dados transferidos	965.40 MB	834.45 MB
Tempo de resposta	1.68 secs	2.01 secs
Ritmo de transferência	22.60 trans/sec	19.52 trans/sec
Ritmo de transferência	3.22 MB/sec	2.78 MB/sec
Pedidos concorrentes	37.89	39.14
Transações concluídas	6799,00	5879,00
Transações falhadas	5,00	6,00
Transação mais longa	47.09	101.64
Transação mais curta	0.00	0.01



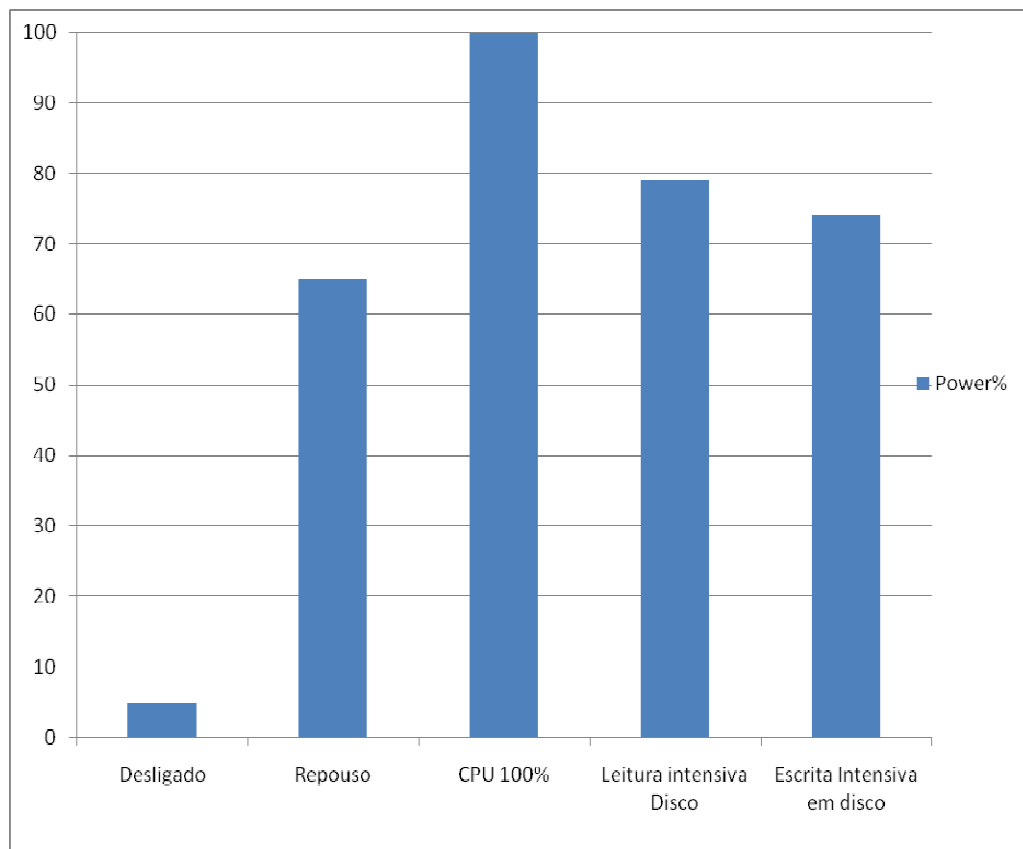
	Utilização CPU %	Utilização RAM %	Potência Watts
07-04-2010 21:05:05	11,50	85,79	122,00
07-04-2010 21:05:34	11,50	86,00	112,00
07-04-2010 21:06:04	15,00	75,56	102,00
07-04-2010 21:06:34	15,00	69,16	102,00
07-04-2010 21:07:05	4,50	69,48	102,00
07-04-2010 21:07:35	4,50	69,69	102,00
07-04-2010 21:08:05	2,50	70,05	146,00
07-04-2010 21:08:35	2,50	70,05	167,00
07-04-2010 21:09:04	60,00	70,39	167,00
07-04-2010 21:09:35	60,00	70,67	167,00
07-04-2010 21:10:04	100,00	70,95	167,00
07-04-2010 21:10:34	100,00	71,28	167,00
07-04-2010 21:11:04	100,00	71,58	167,00
07-04-2010 21:11:35	100,00	71,84	167,00
07-04-2010 21:12:05	100,00	72,12	167,00
07-04-2010 21:12:35	100,00	72,38	167,00
07-04-2010 21:13:04	100,00	72,72	122,00
07-04-2010 21:13:34	100,00	72,99	102,00
07-04-2010 21:14:04	41,50	73,25	102,00
07-04-2010 21:14:35	41,50	73,50	102,00
Media	53,50	72,97	135,95
Desvio	42,41	4,70	30,62
Mínimo	2,50	69,16	102,00
Máximo	100,00	86,00	167,00
Variação	97,50	16,84	65,00

## Conclusão

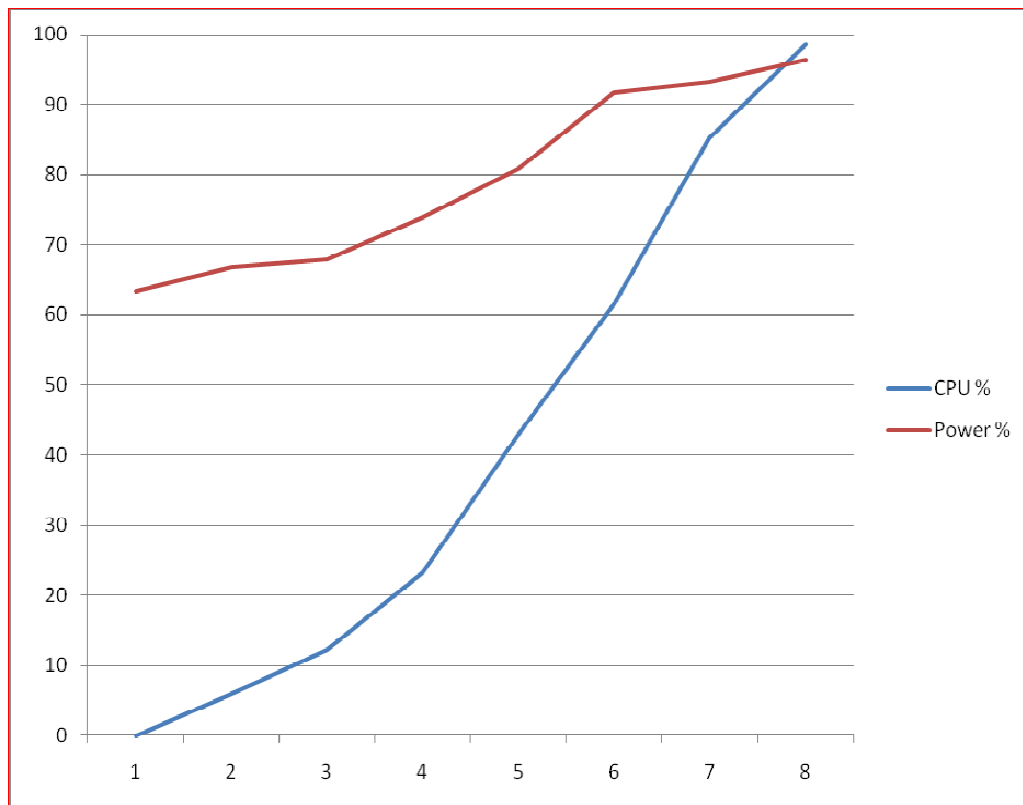
Verificou-se um acréscimo no consumo médio frente a qualquer um dos cenários testados anteriormente. Este acréscimo parece ser causado pelo impacto que o servidor sofre por suportar 2 máquinas virtuais em simultâneo.

## 4.7. Análise Agragada

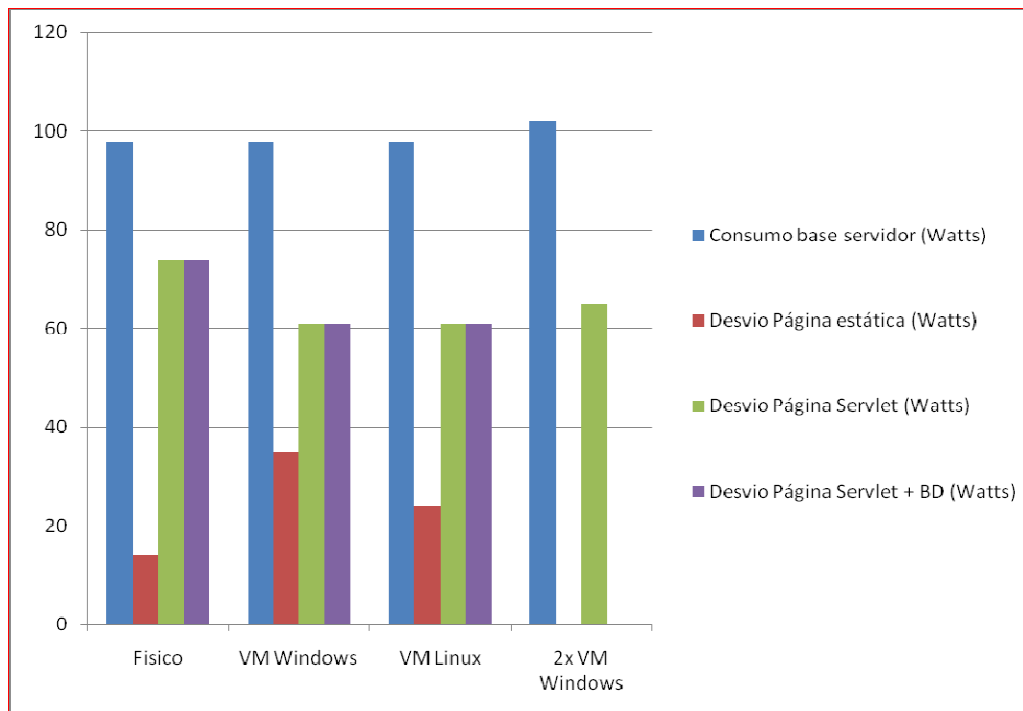
### Consumo do servidor com diferentes cargas de trabalho



## Relação entre consume do servidor e carga do CPU



## Consumo do servidor sobre diferentes cargas de trabalho numa aplicação Web





## **5. Balanço e trabalho futuro**

### **5.1. Avaliação do trabalho realizado**

O desafio fundamental proposto nesta tese passava pelo desenvolvimento e criação de uma solução/produto que pudesse colmatar as necessidades de monitorização energética dos equipamentos de TI de um centro de dados. A informação recolhida por esse sistema deveria ser relevante suficiente para enriquecer o conhecimento do gestor de um centro de dados, habilitando-o a uma gestão mais eficiente dos recursos que tem disponíveis.

Esse desafio foi cumprido, com a criação de um protótipo capaz de monitorizar o consumo energético de qualquer equipamento que esteja alojado num bastidor, independentemente do tipo de equipamento ou fabricante. Esse protótipo serviu de base à criação de um novo produto na Mainroad, que permitirá à mesma gerir melhor a sua infra-estrutura tecnológica, assim como fornecer aos seus clientes serviços de gestão energética e ambiental.

A funcionalidade e validade deste protótipo ficaram também claras na simples execução de testes de carga a um servidor, de onde se puderam tirar conclusões que já podem contribuir para a redução do consumo energético de toda a infra-estrutura de IT.

Do estudo resultante do trabalho desta tese foi possível também tirar várias conclusões, como o impacto positivo que pode ter a análise energética e ambiental no desenvolvimento sustentável e eficiente de um centro de dados. A monitorização em tempo real de métricas ambientais contribuem também para uma gestão proactiva, com a detecção prévia de situações que podem gerar indisponibilidades, como a má qualidade da energia entregue ou a má distribuição de arrefecimento pelo centro de dados, aumentando a fiabilidade do mesmo.

### **5.2. Próximos passos**

A solução desenvolvida ao longo deste mestrado, e o resultado do estudo do estado da arte assim como dos testes realizados, provaram ser uma ferramenta essencial para quem, no seu dia-a-dia, gere um ambiente tecnológico com alguma dimensão. Neste

sentido, e de forma a enriquecer a oferta da Mainroad nesta área, está a ser preparada a oferta de gestão energética baseada na monitorização 24x7 do comportamento energético e ambiental em centros de dados.

É justamente essa monitorização que vai permitir a qualquer organização munir-se de informação crucial para reduzir a sua pegada de carbono, assim como a sua dependência energética, tornando-se mais eficiente e aumentando a sua capacidade.

Tendo por base essa monitorização, pretende-se responder 4 perguntas essenciais com que qualquer gestor de IT lida diariamente:

1. Quanta energia estou a gastar?
2. Onde estou a gastar a minha energia?
3. Quanta energia posso poupar?
4. Onde e como posso poupar energia?

A partir da informação base de consumo energético granular e transversal, a distribuição de energia passa pela distribuição do consumo de cada equipamento tecnológico a cada área de negócio por onde se pretenda imputar custos, como um departamento, um cliente, um serviço ou tecnologia.

Tendo respondidas as duas primeiras perguntas, esta solução permite a realização de diversos estudos de eficiência, com o objectivo de identificar pontos onde existe desperdício, e determinar quanto se poderia otimizar em cada um desses pontos. Esses estudos vão resultar em acções concretas de melhoria, cuja execução e impacto serão monitorizados ao longo do tempo, permitindo uma real análise dos ganhos e impactos de cada acção.

O diagrama abaixo ilustra precisamente esse ciclo:





**Figura 5.1 – Diagrama da solução de otimização energética e ambiental**

Ao adoptar esta estratégia, as organizações entram num ciclo de aprendizagem contínuo, baseado em informação real e adaptado à sua realidade, com informação concreta dos impactos causados por qualquer alteração no seu centro de dados.

### 5.3. Conclusão

A monitorização “equipamento a equipamento” e em tempo real permite uma análise de tendências, potenciando processos como gestão recursos ou gestão de capacidade do centro de dados. Permite isolar pontos problemáticos, assim como analisar a informação recolhida segundo qualquer organização. Isto é especialmente útil para analisar a eficiência e distribuir custos segundo qualquer critério (departamento, serviço, cliente, etc..).

A inclusão de métricas ambientais de infra-estruturas não TI torna-se essencial para avaliação de todo o entorno tecnológico, pois não só permite identificar pontos de perda sucessiva de energia, como permite o calculo e acompanhamento de métricas de eficiência energética do centro de dados, como o DCiE e o PUE.

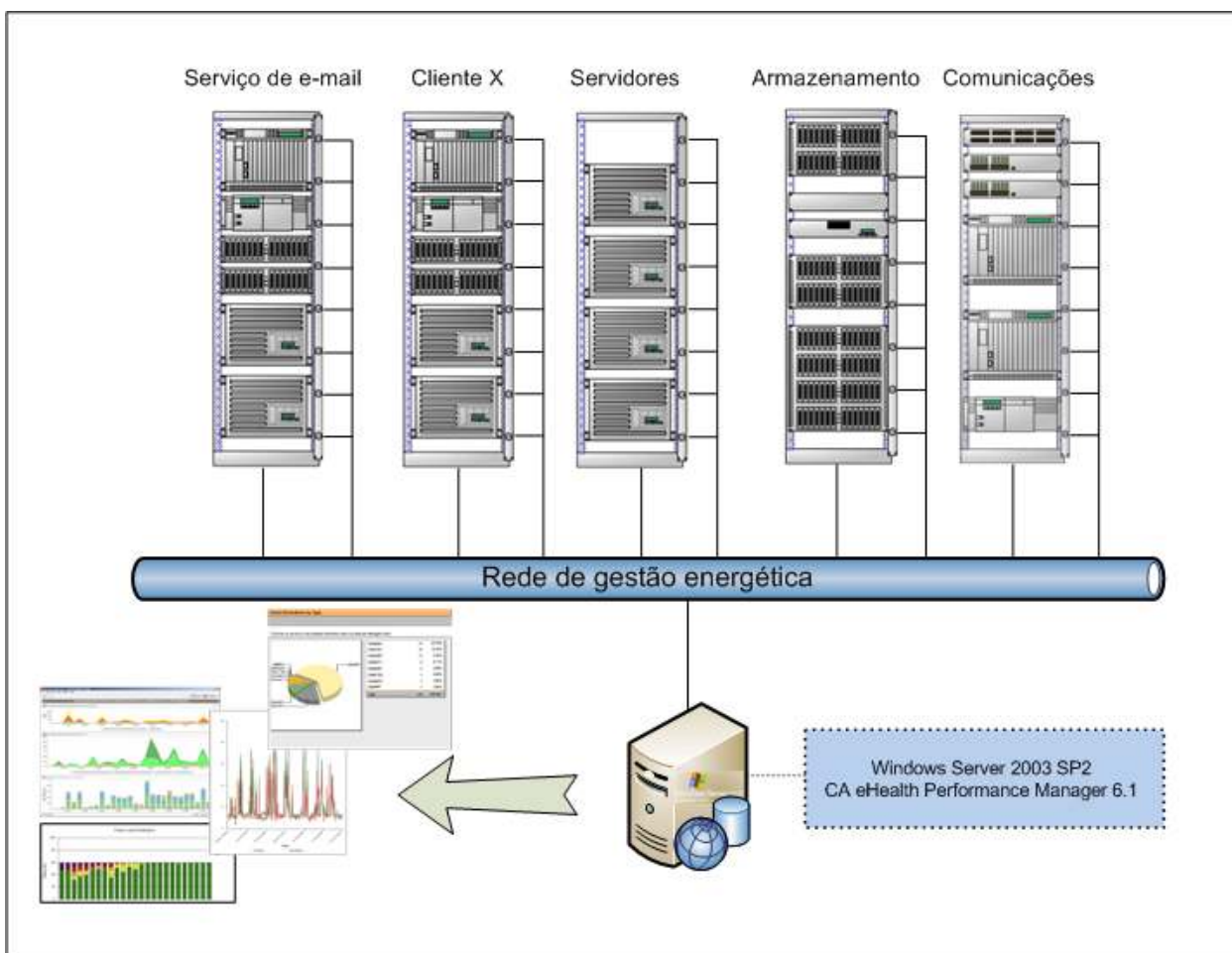
Uma das conclusões inegáveis desta tese é a capacidade, com ferramentas existentes no mercado, de fazer esta recolha e trazer esse conhecimento para a forma de gerir os nossos ambientes tecnológicos.

Sendo este um projecto conjunto com a Mainroad, e estando provadas as potencialidades desta solução, foram definidos como próximos passos a expansão progressiva a todo o centro de dados, assim como a integração com o sistema de gestão de infra-estruturas, de forma recolher as métricas referentes à infra-estrutura não TI, como exemplo do consumo energético do sistema de arrefecimento, informação de temperatura e humidade. A criação de um dashboard e relatórios automáticos vai garantir a melhor utilização da informação recolhida, assim como a detecção de situações a corrigir, antes que as mesmas tenham impacto.

Com a expansão deste sistema a todo o centro de dados, espera-se o cálculo e monitorização das métricas de eficiência energética na Mainroad, assim como a inclusão destes factores nos processos de gestão de capacidades e de ciclo de vida de recursos.

Nos próximos passos espera-se desenvolver uma oferta de um sistema de gestão e monitorização energética remota dos centros de dados dos clientes da Mainroad. Este serviço será baseado nos mesmos princípios discutidos ao longo deste documento, e permitirá à Mainroad aplicar o conhecimento que tem em gestão de infra-estruturas tecnológicas a outros centros de dados que não os seus.

O diagrama abaixo representa a solução final, onde o sistema central utilizado no protótipo passa a monitorizar todos os bastidores do centro de dados, em vez do sistema de testes criado.



**Figura 5.2 – Arquitectura da solução final**



## 6. Bibliografia

- [1] – NASA Earth Observatory website  
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=42392>
- [2] – Carbon Footprint website  
<http://www.carbonfootprint.com/carbonfootprint.html>
- [3] – The Green Grid, *The Green Grid Opportunity - Decreasing Datacenter and Other IT Energy Usage Patterns*, Fevereiro 16, 2007
- [4] – IDC, *The Impact of Power and Cooling on Datacenter Infrastructure*, John Humphreys, Jed Scaramella, Enterprise Platforms Group, 2006
- [5] – The Green Grid, *Green Grid Metrics: Describing Datacenter Power Efficiency* - Fevereiro 20, 2007
- [6] – The Green Grid, *Guidelines for Energy-Efficient Datacenters* - February 16, 2007
- [7] – The Green Grid, *The Green Grid Datacenter Power Efficiency Metrics: PUE and DCiE*, 2007
- [8] - VMware TCO / ROI online calculator  
<http://www.vmware.com/products/vi/calculator.html>
- [9] – VMWare and EMC, *Virtualization - The Most Impactful Solution to Datacenter Power Crisis*, Outubro 08 2007
- [10] - SPEC - Standard Performance Evaluation Corporation website  
<http://www.spec.org/>
- [11] – Mainroad – Information Technology website  
<http://www.mainroad.pt>
- [12] – IBM - Extensions: Active Energy Manager - *IBM Systems Director Active Energy Manager Release Notes v3.1*, 2007
- [13] – Dell – Make IT Greener – Principled Technologies - *SPECjbb2005 Performance and Power consumption on Dell, HP and IBM Blade Servers*, Dezembro 2007
- [14] – HP - Energy & Space Efficiency, *Energy efficiency in the data center*, 4AA2-1834ENW, September 2008
- [15] - GARTNER - *Pragmatic guidance on data center issues for the next 18 month*, Rakesh Kumars, 24 Nov 2008 - ID Number G00162690
- [16] - GARTNER - *Power and Cooling Remain the Top Data Center Infrastructure Issues*, John R Phelps, 20 February 2009 - ID Number: G00165614
- [17] – GARTNER, *How to Use the DCiE and PUE Metrics*, Rakesh Kumars, 23 February 2009 - ID Number: G00165036
- [18] – GARTNER, *Green Data Centers: The Six Key Attributes of Data Center Energy Efficiency Metrics*, Rakesh Kumars, 8 October 2008 - ID Number: G00161094
- [19] – GARTNER, *Green Data Centers: Guidance on Using Energy Efficiency Metrics and Tools*, Rakesh Kumars, 12 November 2008 - ID Number: G00162216

- [20] – APC, *The 7 types of power problems*, Joseph Seymour and Terry Horsley, Whitepaper #18, 2005
- [21] – APC, *Avoiding Costs From Oversizing Data Center and Network Room Infrastructure* Whitepaper #37, rev.2002-4
- [22] – SUN, *Space Watts and Power*, David Greenhill
- [23] – Intel Corporation, *The Problem of Power Consumption in Servers*, Lauri Minas and Brad Ellison , 2009
- [24] – APC, *Implementing Energy Efficient Datacenters*, Neil Rasmussen, Whitepaper #14, rev.2006-0

### **Outras referências relevantes**

Environmental Protection Agency

<http://www.epa.org/>

Energy Information Agency - Forecasts, Analyses and projections of energy information

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/forecasting.html>